

PEMISAHAN LOGAM BERAT Cu DAN Cd DARI LARUTAN LOGAM SINTETIS DAN AIR LIMBAH INDUSTRI DENGAN MENGUNAKAN BIOMASSA *CHLORELLA VULGARIS* DAN BIOMASSA *CHLORELLA VULGARIS* YANG TERIMMOBILISASI SEBAGAI ADSROBEN

Nama Mahasiswa/NRP : Otta Richard Bena Pinem / 2310100009
Taufiq Fajar Sani / 2310100035
Jurusan : Teknik Kimia FTI-ITS
Nama Pembimbing : Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng

ABSTRAK

Salah satu alternatif pemisahan logam dari limbah industri dengan biaya yang lebih murah dan aman bagi lingkungan yaitu dengan menggunakan mikroorganisme sebagai penyerap logam. Alga *Chlorella Vulgaris* memiliki gugus karboksil, hidroksil, amina, sulfidril, imadazol, sulfat dan sulfonat yang terdapat dalam dinding sel yang dimana gugus fungsi tersebut dapat melakukan pengikatan dengan ion logam. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari efektifitas penyerapan ion logam, pengaruh beberapa parameter terhadap penyerapan logam, selektifitas penyerapan biomassa alga terhadap beberapa jenis ion logam. Selain itu membandingkan efisiensi adsorpsi pada larutan sintetis dan air limbah industri. Alga yang digunakan sebagai adsorben berupa biomassa alga non immobilisasi dan biomassa alga yang terimmobilisasi pada silika gel. Proses adsorpsi dilakukan selama 1 jam. Dari hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan didapat bahwa pH, konsentrasi

logam, dan jumlah biomassa alga *Chlorella Vulgaris* serta waktu kontak merupakan parameter yang mempengaruhi proses penyerapan logam oleh biomassa alga. Kondisi optimum yang didapat pada penelitian ini bahwa pH optimum adalah sebesar 6. Sedangkan untuk konsentrasi logam optimum adalah 25 mg/L. Kemudian jumlah biomassa alga optimum adalah 200 mg dan waktu kontak paling optimum adalah 60 menit. Larutan logam yang digunakan adalah larutan sintetis dan limbah PT SIER. Proses adsorpsi ion logam tembaga dan kadmium pada larutan logam sintetis lebih efektif dibandingkan dengan adsorpsi pada larutan limbah industri PT. SIER. Dari 2 jenis biomassa yang digunakan sebagai adsorben biomassa alga non immobilisasi mampu menyerap logam lebih besar dibandingkan biomassa alga yang terimmobilisasi.

Kata kunci : Immobilisasi, Cadmium, *Chlorella Vulgaris*, Tembaga

**SEPARATION OF HEAVY METALS Cu AND Cd
FROM SYNTHETIC METAL SOLUTION AND
INDUSTRIAL WASTEWATER BY USING
CHLORELLA VULGARIS BIOMASS AND
CHLORELLA VULGARIS BIOMASS WITH
IMMOBILIZATION AS ADSORBENT**

Name of Student/NRP : Otta Richard Bena Pinem / 2310100009
Taufiq Fajar Sani / 2310100035
Major : Chemical Engineering Department,
Faculty of Industrial Technology, ITS
Advisor : Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng

ABSTRACT

One of many ways to separate metal from industrial waste at a cost that is cheaper and safer for environment by using microorganism as metal absorber . Algae *Chlorella Vulgaris* has a carboxyl group, hydroxyl, amine, sulfudril, imadazol,sulfate and sulfonate that the fucntional groups is effective to bind heavy metals ion via adsorption process. The purpose of this research are to study the effectiveness of adsorption of metal ions, the influence of several parameters on the metal adsorption,and the adsorption selectivity of several types of metal ions by algae biomass. And also to compare the efficiency of adsorption on synthetic solutions and industrial wastewater. The variation of algae biomass are algae biomass biomass non immobilization and algae biomass with immobilization on silica gel. Adsorption process carried out on 1 hour. From the results of research and analysis that has been done found that pH, metal concentration, and the amount of algae biomass *Chlorella Vulgaris* and contact time are parameters that affect the process of metal uptake by

algae biomass. The optimum conditions obtained in this study that the optimum pH is 6. The optimum metal concentration is 25 mg / L. The optimum amount of algae biomass is 200 mg and the optimum contact time is 60 minutes. Types of wastewater that used are a synthetic solution and PT.SIER industrial wastewater. The adsorption process of metal ions of copper and cadmium in synthetic metal solution is more effective than the adsorption in industrial waste solution from PT.SIER. From the two types of biomass are used as adsorbent, non-immobilized algae biomass is able to adsorb more metal than the immobilized algae biomass.

Keyword : *Immobilization, Cadmium, Chlorella Vulgaris, Copper*

DAFTAR NOTASI

NOMOR	NOTASI	KETERANGAN	SATUAN
1	pH	Derajat keasaman	-
2	Cu	Tembaga	-
3	Cd	Kadmium	-
4	Cu/bio	mg Cu yang terserap per 1 gram biomassa	mg/g
5	Cd/bio	mg Cd yang terserap per 1 gram biomassa	mg/g
6	Ci	Konsentrasi logam awal	mg/L
7	Ceq	Konsentrasi logam sisa	mg/L
8	Cb	Konsentrasi logam yang teradsorpsi	mg/L
9	k	Afinitas serapan	-
10	(am) _{max}	Kapasitas adsorpsi max	mg/g
11	n	Konstanta adsorpsi	-

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Alga

Ditinjau secara biologi, alga merupakan kelompok tumbuhan yang berklorofil yang terdiri dari satu atau banyak sel dan berbentuk koloni. Di dalam alga terkandung bahan-bahan organik seperti polisakarida, hormon, vitamin, mineral dan juga senyawa bioaktif. Pemanfaatan sistem adsorpsi untuk pengambilan logam-logam berat dari perairan telah banyak dilakukan. Beberapa spesies alga telah ditemukan mempunyai kemampuan yang cukup tinggi untuk mengadsorpsi ion-ion logam, baik dalam keadaan hidup maupun dalam bentuk sel mati (biomassa). Berbagai penelitian telah membuktikan bahwa gugus fungsi yang terdapat dalam alga mampu melakukan pengikatan dengan ion logam. Gugus fungsi tersebut terutama adalah gugus karboksil, hidroksil, sulfuril, amino, sulfat dan sulfonat yang terdapat di dalam dinding sel dalam sitoplasma. Pencemaran air secara fisik dapat dilihat dari bahan suspensi seperti partikulat, busa dan serpihan kayu yang mengambang. Polutan fisik ini dikelompokkan dalam kelas yang berbeda. Beberapa tipe dari polutan biologi tidaklah mudah untuk dikelompokkan apakah disebabkan oleh alam (alamiah) atau aktivitas manusia. Alga mungkin terbentuk secara alami tapi nutrisi yang ditambahkan oleh manusia menyebabkan pertumbuhan alga yang berlebih dapat mempengaruhi kualitas air.

Pertumbuhan alga dan tanaman akuatik yang sangat pesat dan berlebih disebabkan oleh masuknya unsur-unsur hara atau nutrisi tanaman yang berasal dari buangan hara yang mencapai badan air, seperti fosfat dan nitrogen merupakan senyawa dasar pada tumbuhan sebagai sumber makanan. Akibat yang dapat

dilihat dari eutrofikasi adalah “algae Bloom” yaitu pertumbuhan alga yang pesat sehingga menutupi seluruh lapisan permukaan perairan.

Alga merupakan tumbuhan utama yang menghuni lingkungan air, baik tawar maupun air laut. Di samping itu, ada pula yang hidup menempel pada tumbuhan lain khususnya yang bersel satu dan ada yang hidup pada jaringan mahluk hidup lain. Alga yang multiseluler dapat berupa benang, lembaran dan ada pula yang berbentuk menyerupai tumbuhan tingkat tinggi.

Berdasarkan jenis pigmennya yang dominan, alga dibedakan menjadi empat kelas, yaitu *Chlorophyta* (alga hijau), *Chrysophyta* (alga keemasan), *Phaeophyta* (alga pirang/coklat) dan *Rhodophyta* (alga merah). *Chlorophyta* (alga hijau) adalah kelompok alga yang memiliki pigmen hijau atau klorofil yang dominan. Alga ini sebagian besar hidup di air tawar, tetapi ada beberapa spesies yang hidup di laut (E.Romera, 2006).

Alga hijau ini merupakan kelompok alga yang paling beragam karena ada yang bersel tunggal, koloni dan bersel banyak. Pigmen yang dimilikinya adalah klorofil yang mengandung karoten. Banyak terdapat di danau, kolam tetapi sebagian ada juga yang hidup di laut.

Berdasarkan berbagai penelitian diketahui bahwa berbagai spesies alga dari habitat perairan baik itu makroalga maupun mikroalga, dalam keadaan hidup, biomassa mati maupun biomassa terimmobilisasi memiliki kemampuan mengadsorpsi ion logam. Ini berarti alga tersebut memiliki kemungkinan untuk dimanfaatkan sebagai biosorben (material biologi penyerap logam berat) dalam pengolahan air limbah di industri (F.A.Abu al-Rub, 2006).

Keuntungan pemanfaatan alga dalam bentuk biomassa mati sebagai biosorben dikarenakan kemampuannya yang cukup

tinggi dalam mengadsorpsi logam berat. Kemampuan tersebut dimiliki karena di dalam alga terdapat gugus fungsi yang dapat melakukan pengikatan dengan ion logam (F.Gonzalez, 2006). Gugus fungsi tersebut terutama gugus karboksil, hidroksil, amina, sulfidril, imadazol, sulfat dan sulfonat yang terdapat dalam dinding sel (Al-Rub ,2006; Crist et al., 2007).

2.1.1. *Chlorella Vulgaris*

Chlorella merupakan tumbuhan bersel tunggal yang memiliki inti sejati, dan tergolong tumbuhan tingkat rendah. *Chlorella* juga disebut dengan alga hijau dan dapat hidup di perairan air tawar, dan perairan air laut. Perkembangbiakan *Chlorella* terjadi secara aseksual, yaitu dengan pembelahan sel atau bisa juga dengan mengeluarkan spora dari induknya. *Chlorella* sebagai pakan alami ikan ini juga memiliki beberapa keuntungan, seperti mudah dibudidayakan, ukuran yang relatif sesuai dengan ukuran bukaan mulut ikan, kemampuan berkembangbiak dengan cepat dalam waktu yang relatif singkat sehingga ketersediaannya dapat terjamin sepanjang waktu dan biaya yang relatif murah.(Siregar,2010).

Menurut Anonim, (2011) Klasifikasi *Chlorella vulgaris* adalah sebagai berikut:

Kerajaan : Plantae

Divisi : Chlorophyta

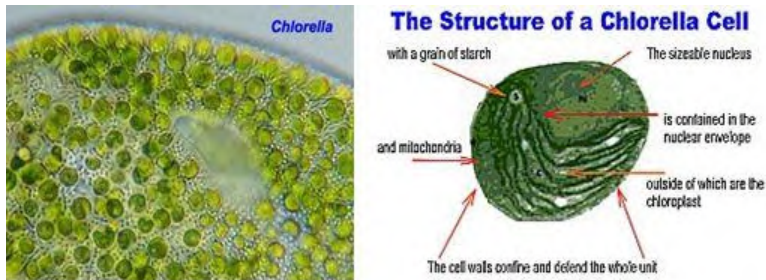
Kelas : Chlorophyceae

Ordo : Chlorococcales

Family : Oocystaceae

Genus : *Chlorella*

Spesies : *Chlorella vulgaris*



Gambar 2.1 Kolonis sel (A) dan struktur sel *Chlorella vulgaris* (B)

Chlorella sp. merupakan tumbuhan bersel tunggal yang memiliki inti sejati, dan tergolong tumbuhan tingkat rendah. Alga ini dapat hidup diperairan air tawar dan perairan air laut. Alga ini memiliki tubuh seperti bola, di dalam tubuhnya terdapat kloroplas berbentuk mangkuk. Perkembangbiakannya terjadi secara vegetative dengan membelah diri. Setiap selnya mampu membelah diri dan menghasilkan empat sel baru yang tidak mempunyai flagel. (Anonim, 2010).

Pertumbuhan fitoplankton ditandai dengan bertambah besarnya ukuran sel atau bertambahnya jumlah sel. *Chlorella* merupakan salah satu jenis fitoplankton yang digunakan dalam pemeliharaan larva kerapu bebek sebagai peneduh atau penyangga kualitas air. (Anonim, 2011). Kehidupan *Chlorella* sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan dimana *Chlorella* tersebut berada. Faktor yang mempengaruhi kehidupan tersebut adalah unsur hara, cahaya matahari, suhu, pH, CO_2 , dan air. Unsur hara yang dibutuhkan oleh *Chlorella* berupa unsur hara makro dan unsur hara mikro. Unsur hara makro terdiri dari N, P, K, S, Na, Si, dan Ca, sedangkan unsur hara mikro terdiri dari Fe, Zn, Mn, Cu, Mg, Mo, Co, B dan lain-lain. Setiap unsur hara mempunyai fungsi khusus bagi *Chlorella* tanpa mengabaikan pengaruh faktor lain. Unsur N, P, dan S sangat penting dalam pembentukan dinding sel *Chlorella*. (Wirosaputro, 2002).

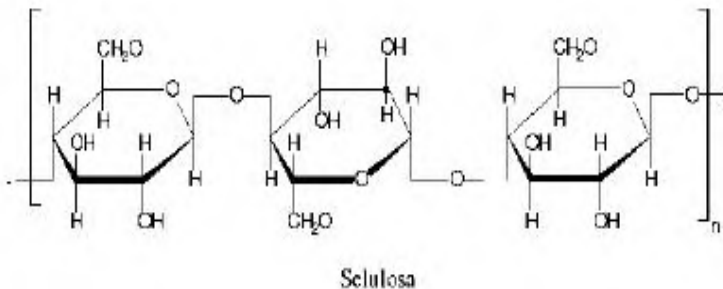
Cahaya matahari berperan penting untuk proses fotosintesis yang dibutuhkan oleh *Chlorella*. *Chlorella* banyak menyerap cahaya biru dan merah, keduanya bila bergabung menjadi sinar ultraviolet yang memiliki daya penyembuh dan daya pembersih. Suhu berperan di dalam memacu proses metabolisme dan untuk Indonesia suhu yang optimum berkisar 25-30⁰ C bagi *Chlorella*. Peranan pH dalam budidaya sangat penting bila dikaitkan dengan kontaminan. kontaminan itu sangat merugikan maka pH dapat diatur guna mengatasinya, yaitu dengan mengatur pH menjadi asam tetapi *Chlorella* tidak terpengaruh olehnya, pH diusahakan menjadi 4,5-5,6. Ketika pH asam maka kontaminan tidak tahan hidup tetapi *Chlorella* tidak terpengaruh kehidupannya, sehingga pencegahan kontaminan dapat dikendalikan. (Wirosaputro, 2002).

Gas CO₂ yang optimal sekitar 15% dan hal ini dapat diusahakan dengan cara meniup gas tersebut lewat pengaduk mekanis ke dalam media budidaya. Media air untuk keperluan budidaya harus terjamin baik tentang kuantitas maupun kualitasnya. Kualitas air sangat penting baik dari kandungan unsur hara maupun kebersihannya, lebih-lebih *Chlorella* tersebut untuk dimanfaatkan oleh manusia atau untuk pakan alami ikan. Menurut hasil penelitian Muhammad Zainuri *et al.* (2008), menyatakan bahwa *Chlorella* biasanya digunakan pula untuk pakan *Cepepoda*. *Chlorella* yang ukurannya kecil dan sifatnya cenderung pasif sehingga memberikan kesempatan *Cepepoda* untuk mengkonsumsinya. Air sebagai media budidaya tidak boleh tercemar termasuk mengandung logam berat yang berbahaya bagi tubuh manusia. Dalam memilih lokasi yang berkaitan dengan kebutuhan air harus dilakukan dengan cermat sehingga benar-benar bebas dari pencemaran. Syarat *Chlorella* sebagai pakan alami ikan adalah: memiliki bentuk dan ukuran yang sesuai dengan mulut ikan, mempunyai nilai gizi yang penting, isi sel padat dan dinding sel tipis, sehingga mudah diserap oleh tubuh ikan, cepat berkembangbiak dan memiliki toleransi yang cukup tinggi terhadap perubahan lingkungan, tidak mengeluarkan zat

toksik, tidak bergerak aktif sehingga mudah ditangkap. (Wirosaputro, 2002).

Dinding sel tersusun atas dua lapisan, lapisan bagian dalam tersusun oleh selulose yang dapat memberikan sifat keras pada dinding sel dan lapisan luar adalah pektin. Tetapi beberapa alga bangsa volvocales dindingnya tidak mengandung selulose, melainkan tersusun oleh glikoprotein. Dinding sel caulerpales mengandung xylan atau mannan.

Inti pada *clorophyta* ada yang berinti prokariota dan ada yang sebagian besar berinti eukariota. Intinya diselubungi membran inti terdapat nukleus dan kromatin. Inti umumnya tunggal tetapi ada yang memiliki inti lebih dari satu.



Gambar 2.2. Struktur kimia selulosa (Khotimah, dkk, 2010)

2.2 Logam Berat

Logam berat sebenarnya masih termasuk golongan logam dengan kriteria yang sama dengan logam lain. Perbedaannya terletak dalam pengaruh yang dihasilkan apabila logam berat ini berikatan dan atau masuk ke dalam tubuh organisme hidup. Sebagai contoh, apabila unsur logam tembaga (Cu), apabila masuk ke dalam tubuh dalam jumlah yang berlebihan akan menimbulkan pengaruh buruk terhadap fisiologi tubuh (Pallar, 1994).

Pallar, (1994). Kelompok logam berat memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

1. Memiliki berat jenis yang sangat besar (> 4)
2. Mempunyai nomor atom 22-34 dan 40-50 serta unsur lantanida dan Aktinida
3. Mempunyai respon biokimia spesifik pada organisme hidup

Niebor dan Richardson menggunakan istilah logam berat untuk menggantikan pengelompokan logam dalam tiga kelompok biologi dan kimia (biokimia), pengelompokan tersebut adalah (Pallar, 1994) :

1. Kelompok yang mudah mengalami reaksi kimia apabila bertemu dengan unsur oksigen atau disebut juga dengan oxygen seeking metal.
2. Logam yang dengan mudah mengalami reaksi kimia apabila bertemu dengan unsur nitrogen dan atau belerang disebut juga nitrogen sulphur seeking metal.
3. Logam antara atau logam transisi yang memiliki sifat khusus atau spesifik sebagai logam pengganti (ion pengganti) untuk logam atau ion logam dari kelas A dan logam dari kelas B pada tabel periodik unsur.

Unsur-unsur logam berat tersebar ke permukaan bumi di tanah, air dan udara. Logam berat tersebar ke permukaan bumi di tanah, air dan udara. Logam berat tersebut dapat berbentuk senyawa organik, anorganik atau terikat dalam suatu senyawa logam yang lebih berbahaya daripada keadaan murninya. Unsur kimia yang termasuk ke dalam logam berat antara lain : Hg, Pb, Cd, Cu, Sb, V, Mn, Ni, Cr, Mo dan lain-lain.

Logam-logam berat memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

1. Sulit didegradasi, sehingga mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan dan keberadaanya secara alami sulit terurai.
2. Mudah terakumulasi dalam sedimen, sehingga konsentrasinya selalu lebih tinggi dari konsentrasi logam dalam air. Disamping itu sedimen mudah tersuspensi karena pergerakan massa air akan melarutkan kembali logam yang dikandungnya di dalam air, sehingga sedimen menjadi sumber pencemaran potensial pada skala waktu tertentu.

2.2.1 Toksisitas Logam Berat

Konsentrasi logam berat yang tinggi berbahaya bagi makhluk hidup karena efek toksiknya . Efek toksisitas logam berat disebabkan oleh proses penggantian ion esensial dalam sel, merusak membran sel melalui reaksi logam dengan gugus-SH, dan reaksi logam berat dengan gugus fosfat dari ATP dan ADP , logam berat mampu berikatan kuat dengan ligan biologis seperti fosfat, purin, pirimidin, dan asam nukleat.

Logam berat akan terakumulasi dalam tubuh manusia melalui rantai makanan, sehingga dapat menyebabkan kerusakan saraf (Neurotoksisitas), nefrotoksisitas, kerusakan gen (genotoksisitas), dan karsinogenesis pada manusia. Unsur Pb, Cd, Co dan Cu merupakan logam berat yang beracun karena sifat-sifat fisika dan kimianya. Logam-logam tersebut paling banyak ditemukan pada perairan yang tercemar logam berat. Tipe- tipe logam berat serta efeknya pada manusia dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Tipe-tipe logam berat serta efek bagi manusia dan ambang batasnya

Jenis logam	Sumber	Dampak bagi kesehatan	Ambang batas (ppm)
Arsenik	Pestisida, fungisida, metal smelters	Bronchitis, dermatitis	0.02
Cadmium	Pengelasan, elektroplating, industry baterai, nuclear fission plant	Kerusakan ginjal, bronchitis, sumsum tulang, kanker	0.06
Tembaga	Peertambangan biji tembaga, electroplating, industri baja	Kerusakan hati, gangguan pencernaan, kerusakan otak, gangguan pernafasan	0.1
Mangan	Pengelasan, fuel addition, produksi ferromanganese	Terhirup atau kontak menyebabkan kerusakan system saraf pusat	0.26
Merkuri	Pestisida, batterai, industri kertas	Kerusakan system saraf, meracuni protolasma	0.01
Zinc	Kilang, pembuatan kuningan, pelapisan logam, industri pipa	Efek korosi pada kulit dan menyebabkan kerusakan system saraf pusat	15

(African journal of biotechnology, 2007)

2.2.2 Kadmium (Cd)

Kadmium (Cd) adalah salah satu logam berat dengan penyebaran yang sangat luas di alam, logam ini bernomor atom 48, berat atom 112,40 dengan titik cair 321°C dan titik didih 765°C. Di alam Cd bersenyawa dengan belerang (S) sebagai

greenocckite (CdS) yang ditemui bersamaan dengan senyawa spalerite (ZnS). Sifat fisika logam cadmium dapat dilihat pada tabel 2.2.

Kadmium merupakan logam lunak (ductile) berwarna putih perak dan mudah teroksidasi oleh udara bebas dan gas amonia (NH₃) (Palar, 2004). Kadmium bervalensi dua (Cd²⁺) adalah bentuk terlarut stabil dalam lingkungan perairan laut pada pH dibawah 8,0. Kadar Cd di perairan alami berkisar antara 0,29-0,55 ppb dengan rata-rata 0,42 ppb. Di lingkungan alami yang bersifat basa, cadmium mengalami hidrolisis, teradsorpsi oleh padatan tersuspensi dan membentuk ikatan kompleks dengan bahan organik. Di perairan alami, kadmium (Cd) membentuk ikatan kompleks dengan ligan baik organik maupun anorganik, yaitu Cd²⁺,

Cd(OH)⁺, CdCl⁺, CdSO₄, CdCO₃ dan Cd organik (Sanusi, 2006).

Cd bersifat kronis dan pada manusia biasanya terakumulasi dalam ginjal. Keracunan Cd dalam waktu lama dapat membahayakan kesehatan paru-paru, tulang, hati, kelenjer reproduksi dan ginjal. Logam Cd juga bersifat neurotoksin yang menimbulkan dampak rusaknya indera penciuman (Anwar.1996).

Tabel 2.2 Sifat fisika logam kadmium

No	Spesifikasi	Kadmium (Cd)
1	Nomor atom	48
2	Nomor massa	112,41
3	Elektronegativitas	1,69
4	Berat jenis (g/mL)	8,65
5	Titik didih (°C)	767
6	Titik Lebur (°C)	321,07
7	Jari-jari Kovalen (pm)	148
8	Energi Ionisasi (kJ mol ⁻¹)	867,8
9	Panas penguapan (kJ mol ⁻¹)	99,87
10	Panas peleburan (kJ mol ⁻¹)	6,21

(www.chem-is-try.org)

2.2.3 Tembaga (Cu)

Tembaga merupakan salah satu unsur logam transisi yang berwarna coklat kemerahan dan merupakan konduktor panas dan listrik yang sangat baik. Biasanya tembaga digunakan untuk membuat alat-alat listrik dan salah satunya adalah kabel, sebagai campuran atau paduan logam seperti kuningan (tembaga + seng), perunggu (tembaga + timah) dan paduan logam lainnya.

Secara fisika, logam Cu (tembaga) digolongkan ke dalam kelompok logam-logam penghantar listrik yang baik. Cu merupakan penghantar listrik yang baik setelah perak (argentum-Ag) karena itu, logam Cu banyak digunakan dalam bidang elektronika atau pelistrikan. Sifat fisika logam tembaga dapat

dilihat pada tabel 2.3. Sesuai dengan sifat kelogamannya Cu dapat membentuk alloy dengan bermacam-macam logam. Alloy - alloy yang dibentuk dengan logam-logam lain itu digunakan secara luas sesuai dengan sifat alloy yang membentuknya. Alloy tembaga dengan logam berium (Be-Cu) mempunyai komposisi berupa Be sekitar 1-2%. Banyak digunakan dalam bagian instrumen-instrumen yang tahan benturan. Konsentrasi tembaga yang tinggi di dalam sel dapat menyebabkan kematian sel (Tohoyama et al, 1995).

Tabel 2.3 Sifat fisika logam Tembaga

No	Spesifikasi	Tembaga (Cu)
1	Nomor atom	29
2	Nomor massa	65,54
3	Elektronegativitas	1,69
4	Berat jenis (g/mL)	8,94
5	Titik didih (°C)	2562
6	Titik Lebur (°C)	1064,18
7	Jari-jari Kovalen (pm)	132
8	Energi Ionisasi (kJ mol ⁻¹)	745,5
9	Panas penguapan (kJ mol ⁻¹)	300,4
10	Panas peleburan (kJ mol ⁻¹)	13,26

(www.chem-is-try.org)

2.3 Immobilisasi

Immobilisasi merupakan teknik yang digunakan untuk fiksasi kimia atau fisika dari sel, organel sel, enzim, atau protein (misalnya monoklonal antibodi) ke dalam matriks pendukung atau membran dalam rangka meningkatkan stabilitasnya dan memungkinkannya dalam penggunaan yang berulang-ulang (Mohamed sayed, 2008).

Biomassa alga hijau diimmobilisasi agar diperoleh ukuran adsorben yang lebih besar, mempunyai bentuk agregat yang stabil, serta biomassa alga dapat terlindungi. Hal ini dikarenakan biomassa alga mempunyai ukuran yang sangat kecil, berat jenisnya yang rendah, dan mudah rusak karena degradasi oleh mikroorganisme lain. Selain itu, biomassa alga tidak dapat digunakan secara langsung dalam kolom karena sifatnya yang sangat lunak dan halus (Buhani, 2009).

Ada beberapa aplikasi yang tersedia untuk immobilisasi biomassa. Teknik- teknik utama yang tersedia pada literatur adalah berdasarkan pada adsorpsi pada zat pendukung yang inert serta menggunakan matriks pendukung (Mohamed sayed, 2008).

2.3.1 Immobilisasi pada zat pendukung yang inert

Zat pendukung dimasukkan sebelum proses sterilisasi dan inokulasi dengan ‘starter’ dan dibiarkan di dalam untuk pembiakan selanjutnya sampai terbentuk lapisan tipis dari mikroorganisme yang terlihat jelas pada permukaan zat pendukung (Putra. 2007). Contohnya, karbon aktif yang digunakan sebagai zat pendukung untuk biofilm *Enterobacter aerogens*.

2.3.2. Menggunakan matriks pendukung

Syarat suatu bahan menjadi matriks pendukung antara lain (Putra. 2007) :

1. Memiliki sisi aktif terutama mengandung gugus aktif yang reaktif
2. Mempunyai permukaan yang luas
3. Memiliki kapasitas pengikatan yang tinggi
4. Mempunyai daya tahan yang baik terhadap perubahan-perubahan pelarut kimia

Penggunaan matriks pendukung ini dibagi menjadi tiga bagian.

2.3.2.1 Melalui perangkat dalam matriks polimerik

Polimer yang biasa digunakan adalah, Kalsium alginat, poliakrilamid, polisulfon, dan polietilenimin (Putra. 2007).

2.3.2.2 Melalui ikatan kovalen dengan senyawa vector

Senyawa vektor (pembawa) yang umum digunakan adalah silika gel (Putra. 2007).

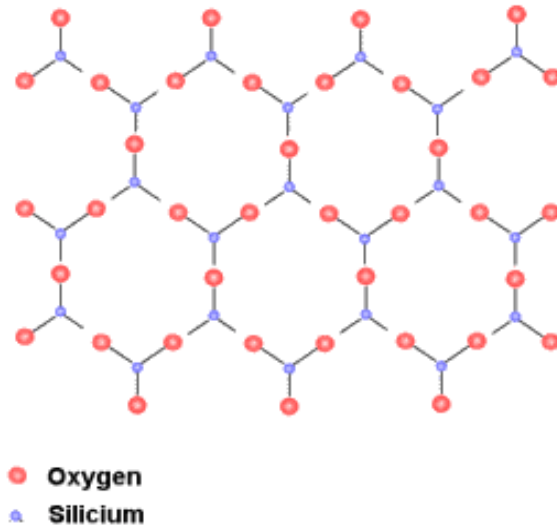
2.3.2.3 Melalui Cross-link

Penambahan zat yang dapat menyebabkan cross link bertujuan untuk membentuk agregat sel yang stabil. Zat yang umum digunakan adalah formaldehid, glutaraldialdehid, divinilsulfo, dan campuran formaldehid-urea.

2.4 Silika Gel

Silika gel merupakan bahan amorf yang tersusun dari tetrahedral SiO_4 yang tersusun secara tidak teratur dan beragregasi membentuk kerangka tiga dimensi yang lebih besar (1-25 m). Silika amorf dapat digunakan sebagai adsorben dan pendukung katalis karena luas permukaan yang besar dan

porositas yang tinggi. Rumus kimia silika gel secara umum adalah $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$



Gambar2.3 Struktur silica gel

Silika gel merupakan suatu bentuk dari silika yang dihasilkan melalui penggumpalan sol natrium silikat (NaSiO_2) yang tidak larut pada pH rendah, kelarutannya tidak meningkat jika pH dinaikkan dari pH 2-9, hanya diatas pH 9 silika akan melarut. Dalam rentang pH 2-9 kelarutan silika konstan yaitu 140 mg/L.

2.5 Biosorpsi

Biosorpsi adalah proses penyerapan logam dengan menggunakan biomassa yang tidak aktif atau mati dan mudah didapat untuk memisahkan logam-logam berat dari larutan encernya dalam air.

Seperti telah diketahui bahwa biosorben merupakan materi biologis yang digunakan dalam proses penyerapan logam dari suatu larutan (Alluri et al., 2007). Biosorben yang digunakan dalam proses biosorpsi dapat berasal dari bakteri, alga, jamur, ragi dan tanaman (Alluri et al., 2007).

Menurut Al-Rub et al., (2006); Ahalya et al., (2003); Putra (2003) dan Suhendrayatna (2001), dinding sel dari sebagian besar biosorben terdiri dari lipid, polisakarida dan protein. Pada dinding tersebut terdapat kelompok fungsional yang berbeda seperti imidazol, tioeter, karboksil, hidroksil, karbonil, fosfat, fenolik dan lain-lain yang dapat membentuk koordinasi kompleks dengan ion logam.

Biosorben yang digunakan dapat berupa biomassa hidup maupun biomassa mati (Al-Rub et al., 2006; Ahalya et al., 2003). Menurut Ahalya et al., (2003), biomassa mati mengikat ion logam secara adsorpsi pada permukaan selnya dengan kapasitas yang besar dibandingkan dengan pertukaran ion.

Berdasarkan penjelasan tersebut dapat diketahui bahwa teknologi biosorpsi dengan menggunakan biomassa mati melalui pengikatan oleh dinding sel lebih sesuai untuk tujuan teknologi daripada menggunakan organisme hidup.

2.6 Mekanisme Pengambilan Logam Berat oleh Mikroalga

Mekanisme pengambilan logam berat oleh mikroalga terdiri atas dua proses yakni adsorpsi dan absorpsi. Adsorpsi terjadi melalui dua proses, yakni pertukaran ion dan pengikatan ion logam berat oleh gugus fungsi yang terdapat pada permukaan sel. Dinding sel mikroalga umumnya terdiri atas selulosa yang memiliki gugus fungsional seperti hidroksil yang dapat berikatan dengan logam berat (Kauner dkk, 1997 & Gupta dkk, 2000)

Absorpsi berlangsung melalui transport aktif dan prosesnya berlangsung lebih lambat dari pada adsorpsi. Logam berat yang terabsorpsi akan terakumulasi di dalam sel logam berat yang terabsorpsi akan berkaitan dengan protein pengikat logam seperti metalotionein dan fitokelatin, selanjutnya logam berat tersebut akan diakumulasi di vakuola (Niess, 1999).

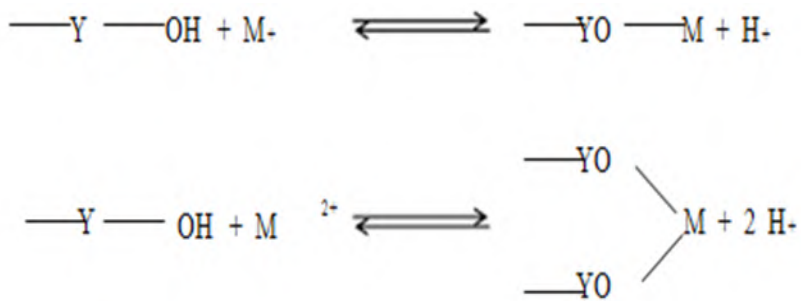
Umumnya, penyerapan ion logam berat oleh mikroorganisme terdiri atas dua mekanisme yang melibatkan proses active uptake (bioakumulasi) dan passive uptake (biosorpsi).

Proses active uptake dapat terjadi pada berbagai tipe sel hidup. Mekanisme ini secara simultan terjadi sejalan dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan mikroorganisme, dan/atau akumulasi intraselular ion logam tersebut. Proses ini tergantung dari energi yang terkandung dan sensitivitasnya terhadap parameter yang berbeda seperti pH, suhu, kekuatan ikatan ionik, cahaya dan lainnya. Sehingga proses ini dapat pula dihambat oleh suhu rendah, tidak tersedianya sumber energi dan penghambat metabolisme sel. Di sisi lain, penyerapan logam berat dengan sel hidup ini terbatas dikarenakan oleh akumulasi ion yang menyebabkan racun terhadap mikroorganisme. Hal ini biasanya dapat menghalangi pertumbuhan mikroorganisme disaat terjadinya keracunan terhadap ion logam tersebut

Passive uptake dikenal dengan istilah proses biosorpsi. Proses ini terjadi ketika ion logam berat mengikat dinding sel dengan dua cara yang berbeda, pertama pertukaran ion di mana ion monovalen dan divalen seperti Na, Mg, dan Ca pada dinding sel digantikan oleh ion-ion logam berat; dan kedua adalah formasi kompleks antara ion-ion logam berat dengan gugus fungsi seperti karbonil, amino, tiol, hidroksi, fosfat, dan hidroksi-karboksil yang berada pada dinding sel. Proses biosorpsi ini bersifat bolak balik dan cepat. Proses biosorpsi dapat lebih efektif dengan kehadiran pH tertentu

Keberadaan ion lain dilingkungan dapat juga mempengaruhi pengambilan logam berat oleh mikroalga. Hasil penelitian Issa dkk (1995) menunjukkan bahwa ion Ca^{2+} dapat menghambat pengambilan ion Cd^{2+} , Ni^{2+} , Mn^{2+} dan Co^{2+} pada mikroalga *Kirchneriella linaris*. Penghambatan terjadi karena terjadi kompetensi ion Ca^{2+} dengan ion logam berat untuk berikatan dengan situs pengikatan yang terdapat di permukaan sel.

Mekanisme serapan yang terjadi antara gugus -OH yang terikat pada permukaan dengan ion logam yang bermuatan positif (kation) merupakan mekanisme pertukaran ion sebagai berikut (Yantri 1998).



Gambar 2.4 Mekanisme pertukaran ion logam

M^+ dan M^{2+} adalah ion logam, -OH adalah gugus hidroksil dan Y adalah matriks tempat gugus -OH terikat. Interaksi antara gugus -OH dengan ion logam juga memungkinkan melalui mekanisme pembentukan kompleks koordinasi karena atom oksigen (O) pada gugus -OH mempunyai pasangan elektron bebas, sedangkan ion logam mempunyai orbital d kosong. Pasangan elektron bebas tersebut akan menempati orbital kosong yang dimiliki oleh ion logam, sehingga terbentuk suatu senyawa atau ion kompleks.

2.7 Spektrofotometer Serapan Atom (AAS)

Susanti. (2009). Metoda analisa Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) didasarkan pada penyerapan energi radiasi pada panjang gelombang tertentu oleh atom atom netral pada keadaan dasarnya (ground state) dalam bentuk gas.

Spektrofotometri Serapan Atom merupakan salah satu metoda analisis logam yang sangat selektif dan sensitif, karena setiap atom memiliki garis resonansi yang spesifik. Spektrofotometri Serapan Atom digunakan untuk menentukan kadar unsur-unsur logam dan semi logam yang konsentrasinya relative rendah didalam sebuah sampel. Kebanyakan analisa Spektrofotometri Serapan Atom menggunakan nyala untuk mengatomkan unsur yang dianalisis. Intensitas radiasi yang diserap sebanding dengan jumlah atom yang ada.

Pada prinsipnya metode analisis SSA mempunyai dua aspek, yaitu aspek kualitatif yang ditunjukkan oleh adanya serapan atom yang spesifik panjang gelombang tertentu dan aspek kuantitatif didasarkan pada hukum Lambert-Beer yang menyatakan bahwa banyaknya sinar yang diserap sebanding dengan banyaknya atom yang menyerap. Pengamatan banyaknya sinar yang diserap ini dilakukan dengan membandingkan intensitas radiasi sebelum diserap dengan intensitas radiasi setelah diserap oleh atom-atom pada tingkat energi dasar.

Pada umumnya sampel berada dalam bentuk cairan atau padatan, oleh sebab itu ion atau analit harus diuapkan didalam nyala (flame) atau tungku (grafite furnace). Suatu sampel pertama-tama harus dilarutkan (destruksi) yang bertujuan untuk membuat unsur logam menjadi ion logam yang bebas. Kemudian larutan sampel dimasukkan kedalam nyala dalam bentuk aerosol yang selanjutnya akan membentuk atom-atomnya. Pada suhu nyala udara-asetilen (2300°C), atom dari sejumlah banyak unsur berada dalam keadaan dasar. Sumber emisi sinar yang

digunakan adalah lampu katoda berongga yang mempunyai garis spektra yang tajam.

Pada penelitian ini analisa dengan AAS digunakan untuk mengetahui kandungan atau konsentrasi logam setelah dilakukan penyerapan oleh biomassa alga dan biomassa alga terimmobilisasi. Sehingga akan diketahui berapa besar kadar logam yang berhasil di serap oleh biomassa alga tersebut.

2.8 Fourier Transform Infra Red (FTIR)

Giwangkara., (2007). Spektroskopi inframerah merupakan teknik spektroskopi yang berguna untuk mengidentifikasi gugus fungsi. Spektrom inframerah meliputi panjang gelombang antara 2,5-1,6 μm atau setara dengan bilangan gelombang 4000-650 cm^{-1} . Spektrum inframerah suatu senyawa dapat dengan mudah diperoleh dalam beberapa menit. Sedikit sampel senyawa diletakkan dalam instrumen dengan sumber radiasi inframerah. Spektrometer secara otomatis membaca sejumlah radiasi yang menembus sampel dengan kisaran frekuensi tertentu dan merekam pada kertas berapa persen radiasi yang ditransmisikan. Radiasi yang diserap oleh molekul muncul sebagai pita pada spektrum.

Karena setiap tipe ikatan yang berbeda mempunyai sifat frekuensi vibrasi yang berbeda, dan karena tipe ikatan yang sama dalam dua senyawa yang berbeda terletak dalam lingkungan yang sedikit berbeda, maka tidak ada dua molekul yang berbeda strukturnya akan mempunyai bentuk serapan yang tepat sama. Spektrofotometer FTIR biasanya digunakan untuk sampel dengan konsentrasi yang kecil dan pengukurannya lebih cepat dibandingkan dengan IR. Prinsip kerja FTIR tidak jauh berbeda dengan IR hanya kemampuan FTIR lebih baik daripada IR.

Pada penelitian ini analisa FTIR digunakan untuk mengetahui gugus-gugus fungsi yang terdapat pada biomassa alga

sehingga bisa diketahui bahwa alga tersebut memiliki gugus fungsi yang mempunyai kemampuan untuk mengikat logam. Gugus fungsi yang dimiliki alga antara lain karboksil, hidroksil, amina, imadazol, sulfat dan lain sebagainya.

2.9 Isotherm Adsorpsi Langmuir

Atkins. (2009). Isotherm Langmuir dipelajari untuk menggambarkan pembatasan sisi adsorpsi dengan asumsi bahwa sejumlah tertentu sisi sentuh adsorben ada pada permukaannya dan semuanya memiliki energi yang sama, serta adsorpsi bersifat balik.

Langmuir menggambarkan bahwa pada permukaan penyerap terdapat sejumlah tertentu sisi aktif (active sites) yang sebanding dengan luas permukaan penyerap. Pada setiap sisi aktif hanya satu molekul yang dapat diserap. Ikatan antara zat yang terserap dengan penyerap dapat terjadi secara fisika (physisorption) atau secara kimia (chemisorption). Ikatan tersebut harus cukup kuat untuk mencegah perpindahan molekul yang telah terserap sepanjang permukaan penyerap. Interaksi antara molekul-molekul yang terserap dalam lapisan hasil serapan diabaikan. Penyerapan secara kimia, terjadi apabila terjadi ikatan kimia antara molekul terserap dengan situs aktif penyerap. Karena terjadi pemutusan dan pembentukan ikatan, maka harga panas penyerapan kimia mempunyai kisaran nilai sama dengan energi untuk reaksi kimia yang terjadi. Penyerapan kimia hanya membentuk lapisan tunggal pada permukaan penyerap (monolayer adsorption). Proses penyerapan dapat dinyatakan dengan suatu persamaan kimia.

Proses penyerapan dapat dinyatakan dengan suatu persamaan kimia. Jika zat yang terserap adalah suatu gas, persamaan sbb:

$$a = \frac{am \cdot kc}{1 + k} \quad (1)$$

Dimana :

a : adalah miligram logam yang terserap per gram biomassa kering (mg/g)

k : adalah konstanta kesetimbangan (afinitas serapan).

c : adalah konsentrasi ion bebas saat setimbang (mg/L).

Persamaan adsorpsi Isoterm Langmuir diatas dapat ditulis dalam bentuk persamaan linier, yaitu:

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{am} + \frac{1}{am.k} \cdot \frac{1}{c} \quad (2)$$

Dimana:

a : adalah miligram logam yang terserap per gram biomassa kering (mg/g)

k : adalah konstanta kesetimbangan (afinitas serapan).

c : adalah konsentrasi ion bebas saat setimbang (mg/L).

2.10 Isotherm Freundlich

Isoterm Freundlich paling umum digunakan karena dinilai lebih baik dalam mencirikan proses adsorpsi. Persamaan adsorpsi isoterm Freundlich merupakan persamaan yang menunjukkan hubungan antara jumlah zat yang terserap dengan konsentrasi zat dalam larutan, yang dinyatakan dalam persamaan:

$$m = kc^{1/n} \quad (3)$$

m adalah jumlah zat yang terserap per gram zat penyerap, c adalah konsentrasi zat terserap saat setimbang, k dan n adalah tetapan adsorpsi. Persamaan adsorpsi isoterm Freundlich diatas dapat ditulis dalam bentuk persamaan linier, yaitu:

$$\log m = \log k + 1/n \log c \quad (4)$$

Dengan mengukur m sebagai fungsi c dan membuat hubungan antara $\log m$ dan $\log c$, maka nilai n dan k dapat ditentukan dari derajat kemiringan dan perpotongan garisnya (intercept).

2.11 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.4 Penelitian mengenai alga sebagai biosorben logam berat

No.	Peneliti	Nama Jurnal, Tahun, Judul Penelitian	Hasil
1.	F.A.Abu Al Rub, M.H. El-Naas, I.Ashour, M. Al-marzouqi	Journal of Process Biochemistry (Elsevier), 2006, "Biosorption of copper on <i>chlorella vulgaris</i> from single, binary and ternary metal aqueous solution"	Biosorpsi untuk tembaga oleh alga dipengaruhi oleh pH dan jumlah alga, pH optimum yang didapat adalah pada pH 5
2.	Buhani, Suharso, Z. Sembiring	Oriental journal of Chemistry, 2012, "Immobilization of <i>Chetoceros sp</i> microalgae with silica gel through encapsulation technique as adsorbent of Pb metal from solution"	Adsorbent menggunakan <i>Chetoceros sp</i> yang terimmobilisasi silica gel mempunyai kapasitas serap lebih besar daripada biomassa <i>chetoceros sp</i> , serta biomassa yang terimmobilisasi lebih stabil sebagai adsorbent dalam larutan.
3.	E. Romera, F.Gonzales, A.Ballester, M.L. Blazquez, J.A. Munoz	Science Direct, 2007, "Comparative study of biosorption of heavy metals using different types of algae"	Kapasitas penyerapan logam dipengaruhi oleh pH dan jumlah biomassa alga. Ph optimum untuk Cu yaitu 4-5, untuk Pb yaitu 3-5, dan untuk Cd, Ni, dan Zn yaitu 6.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Variabel Penelitian

Penelitian dilakukan di laboratorium pengolahan limbah cair industri jurusan teknik kimia FTI-ITS Surabaya. Penelitian ini menggunakan biomassa alga *Chlorella vulgaris* (alga mati yang dikeringkan) sebagai biosorben logam berat yang didapatkan dari BBPAP Jepara.

Kondisi operasi :

1. Mikroalga *Chlorella vulgaris* (dari BBPBAP Jepara).
2. Kondisi tumbuh *Chlorella vulgaris* dalam penelitian
 - Suhu bubbling (25°C - 30°C).
 - Intensitas Cahaya ($10 \text{ klux} \pm 36 \text{ watt}$).
 - Aerasi $\text{DO} \geq 2 \text{ mg/L}$
3. Jenis larutan logam berat yang digunakan
 - Larutan CuSO_4 (tembaga sulfat)
 - Larutan CdSO_4 (Cadmium sulfat)
4. Air limbah dari PT.SIER Surabaya
5. Waktu adsorpsi 60 menit
6. Suhu proses adsorpsi : 25°C - 30°C

• Variabel

1. Variasi pH = 4, 5, dan 6.
2. Konsentrasi logam = 25, 50, dan 100 mg/L.

3. Konsentrasi biomassa = 100, 150, dan 200 mg

• **Analisa**

1. Mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada alga dengan metode FTIR
2. Penurunan kadar logam Cu dan Cd oleh biomassa alga *Chlorella vulgaris* dan biomassa *Chlorella vulgaris* terimmobilisasi dengan analisa AAS

3.2 Besaran Yang Diukur

Selama proses penurunan kadar ion logam berat oleh biomassa alga, dilakukan pengukuran besaran-besaran berikut :

Tabel 3.1 Parameter yang diukur

Besaran yang diukur	Waktu pengukuran
Kadar logam dalam larutan logam sintetis	Awal dan akhir
Kadar logam dalam air limbah industri	Awal dan akhir

3.3 Alat Yang Digunakan

- | | |
|------------------------------|------------------|
| 1. Erlenmeyer 150 ml | 9. Kertas saring |
| 2. Oven | 10. Gelas ukur |
| 3. Rotary shaker porselin | 11. Cawan |
| 4. Pipet volumetric analitik | 12. Timbangan |

5. pH meter
stirer

6. Centrifuge

7. Tabung reaksi

8. Corong

13. Magnetic

14. Aerator

15. DO meter

16. Lampu neon
36 watt

3.4 Bahan

1. Mikroalga

2. Biomassa alga

3. Logam berat Cu dan Cd dari larutan CuSO_4 dan CdSO_4

6. Akuades

7. HCl

8. NaOH

9. HNO_3

10. Na_2SiO_3 (Natrium Silikat/water glass)

3.5 Prosedur Penelitian

1. Prosedur Kultur meliputi :

- Mengatur sistem pencahayaan dengan lampu neon 36 watt yang diletakkan diatas kolam pengulturan.
- Mengatur sistem aerasi ($\text{DO} \geq 2 \text{ mg/L}$) dan penambahan gas CO_2 bila diperlukan
- Memasukkan nutrisi berupa larutan walne 1ml walne per 1 liter media kultur

- Mengaduk setiap media kultur sampai homogen (bisa dengan aerasi)

2. Prosedur pembuatan biomassa :

- Melakukan pemisahan mikroalga yang telah dikembangbiakkan dengan penyaringan menggunakan centrifuge
- Melakukan filtrasi dengan menggunakan kertas saring untuk mendapatkan alga kering.
- Mikroalga yang sudah dipisahkan dari air nya kemudian dikeringkan dengan cawan porselin dengan suhu 50-60° C selama kurang lebih 30 menit
- Menghaluskan mikroalga yang sudah kering sampai menjadi serbuk alga
- Menganalisa biomassa dengan FTIR
- Menyimpan biomassa alga yang telah siap digunakan untuk penelitian selanjutnya

3. Prosedur imobilisasi biomassa alga dengan silika gel

- Menyiapkan Larutan Na_2SiO_3 (Natrium silikat) sebanyak 100 ml
- Menambahkan resin kation pada waterglass
- Mengaduk campuran dengan magnetic stirrer selama kurang lebih 30 menit
- Memisahkan natrium silikat dengan resin kation nya dengan kertas saring
- Menambahkan biomassa alga sebanyak 300 mg ke dalam larutan
- Mengaduknya hingga homogen
- Menambahkan HCl hingga terbentuk hidrogel pada larutan
- Mengeringkan hidrogel pada oven dengan suhu 60°C selama 1 jam

- Biomassa alga siap digunakan sebagai adsorben
- 4. Prosedur pengkontakan biomassa alga non imobilisasi dan imobilisasi pada larutan logam sintetis dengan variasi pH :**
- Membuat larutan logam untuk Cu dan Cd dengan konsentrasi masing-masing 25 mg/l
 - Larutan dimasukkan dalam Erlenmeyer 100 ml sebanyak 25 ml untuk setiap variasi pH yang berbeda, yaitu pH 4, 5, dan 6.
 - Mengatur pH dengan menggunakan HNO_3 dan NaOH sesuai variabel pH yang telah ditentukan (4, 5, dan 6).
 - Memasukkan biomassa alga sebanyak 100 mg ke dalam larutan logam
 - Mengkontakkan biomassa alga baik imobilisasi maupun non imobilisasi dengan larutan logam sesuai pH yang telah ditentukan, yaitu pada pH 4, 5, dan 6 selama 60 menit dengan pengambilan sampel pada menit ke 15, 45, dan 60.
 - Menyaring filtrat larutan logam setelah dikontakkan dengan biomassa alga dengan kertas saring
 - Menganalisa filtrat dengan AAS
 - Hasil analisa AAS merupakan kadar ion logam yang tidak teradsorpsi oleh biomassa alga
- 5. Prosedur pengkontakan biomassa alga non imobilisasi dan imobilisasi pada larutan logam sintetis dengan variasi konsentrasi logam :**
- Membuat larutan logam untuk Cu dan Cd dengan konsentrasi masing-masing 25 mg/l, 50 mg/l, dan 100 mg/l.

- Larutan dimasukkan dalam Erlenmeyer 100 ml sebanyak 25 ml untuk setiap konsentrasi logam yang berbeda
- Mengatur pH dengan menggunakan HNO_3 dan NaOH pada pH optimum yang telah didapatkan pada penelitian variasi pH
- Memasukkan biomassa alga non imobilisasi maupun yang terimmobilisasi sebanyak 100 mg ke dalam larutan logam
- Mengkontakkan biomassa alga non imobilisasi maupun imobilisasi sesuai variabel yang ditentukan yaitu konsentrasi logam 25, 50, dan 100 mg/l dengan rotary shaker selama 60 menit dengan pengambilan sampel pada menit ke15, 45, dan 60.
- Menyaring filtrat larutan logam setelah dikontakkan dengan biomassa alga dengan kertas saring
- Menganalisa filtrat dengan AAS
- Hasil analisa AAS merupakan kadar ion logam yang tidak teradsorpsi oleh biomassa alga

6. Prosedur pengkontakan biomassa alga non imobilisasi dan imobilisasi pada larutan logam sintetis dengan variasi jumlah biomassa alga :

- Membuat larutan logam untuk Cu dan Cd dengan konsentrasi sesuai konsentrasi optimum yang didapat dari penelitian variasi konsentrasi logam sebelumnya.
- Larutan dimasukkan dalam Erlenmeyer 100 ml sebanyak 25 ml
- Mengatur pH dengan menggunakan HNO_3 dan NaOH pada pH optimum yang telah didapatkan pada penelitian variasi pH
- Memasukkan biomassa alga non imobilisasi maupun yang terimmobilisasi sesuai variabel yang

ditentukan, yaitu 100, 150, dan 200 mg ke dalam larutan logam

- Mengkontakkan biomassa alga non imobilisasi maupun imobilisasi sesuai variabel yang ditentukan yaitu jumlah biomassa 100, 150, dan 200 mg/l dengan rotary shaker selama 60 menit dengan pengambilan sampel pada menit ke 15, 45, dan 60.
- Menyaring filtrat larutan logam setelah dikontakkan dengan biomassa alga dengan kertas saring
- Menganalisa filtrat dengan AAS
- Hasil analisa AAS merupakan kadar ion logam yang tidak teradsorpsi oleh biomassa alga

7. Prosedur pengkontakan biomassa alga non imobilisasi dan imobilisasi dengan air limbah PT.SIER dengan variasi PH:

- Membuat larutan logam untuk Cu dan Cd dengan konsentrasi masing-masing 25 mg/l
- Larutan limbah SIER dimasukkan dalam Erlenmeyer 100 ml sebanyak 25 ml untuk setiap variasi pH yang berbeda, yaitu pH 4, 5, dan 6.
- Mengatur pH dengan menggunakan HNO_3 dan NaOH sesuai variabel pH yang telah ditentukan (4, 5, dan 6).
- Memasukkan biomassa alga sebanyak 100 mg ke dalam larutan logam
- Mengkontakkan biomassa alga baik imobilisasi maupun non imobilisasi dengan larutan limbah sesuai pH yang telah ditentukan, yaitu pada pH 4, 5, dan 6 selama 60 menit dengan pengambilan sampel pada menit ke 15, 45, dan 60.
- Menyaring filtrat larutan logam setelah dikontakkan dengan biomassa alga dengan kertas saring
- Menganalisa filtrat dengan AAS
- Hasil analisa AAS merupakan kadar ion logam yang tidak teradsorpsi oleh biomassa alga

8. Prosedur pengkontakan biomassa alga non imobilisasi dan imobilisasi dengan air limbah PT.SIER dengan variasi konsentrasi logam:

- Membuat larutan logam untuk Cu dan Cd dengan konsentrasi masing-masing 25 mg/l, 50 mg/l, dan 100 mg/l.
- Larutan dimasukkan dalam Erlenmeyer 100 ml sebanyak 25 ml untuk setiap konsentrasi logam yang berbeda
- Mengatur pH dengan menggunakan HNO_3 dan NaOH pada pH optimum yang telah didapatkan pada penelitian variasi pH
- Memasukkan biomassa alga non imobilisasi maupun yang terimobilisasi sebanyak 100 mg ke dalam larutan logam
- Mengkontakkan biomassa alga non imobilisasi maupun imobilisasi pada larutan limbah industri sesuai variabel yang ditentukan yaitu konsentrasi logam 25, 50, dan 100 mg/l dengan rotary shaker selama 60 menit dengan pengambilan sampel pada menit ke 15, 45, dan 60.
- Menyaring filtrat larutan logam setelah dikontakkan dengan biomassa alga dengan kertas saring
- Menganalisa filtrat dengan AAS
- Hasil analisa AAS merupakan kadar ion logam yang tidak teradsorpsi oleh biomassa alga

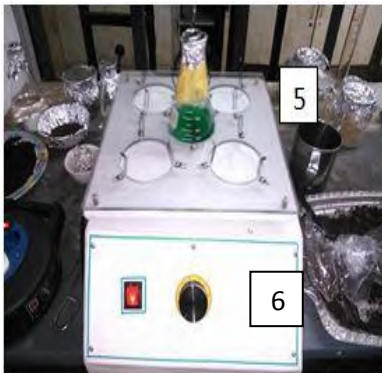
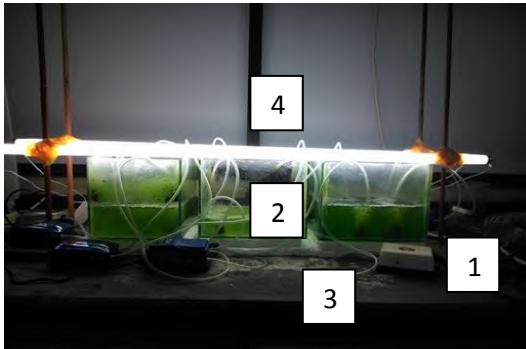
9. Prosedur pengkontakan biomassa alga non imobilisasi dan imobilisasi dengan air limbah PT.SIER dengan variasi jumlah biomassa:

- Membuat larutan logam untuk Cu dan Cd dengan konsentrasi sesuai konsentrasi optimum yang didapat dari penelitian variasi konsentrasi logam sebelumnya.

- Larutan dimasukkan dalam Erlenmeyer 100 ml sebanyak 25 ml
- Mengatur pH dengan menggunakan HNO_3 dan NaOH pada pH optimum yang telah didapatkan pada penelitian variasi pH
- Memasukkan biomassa alga non imobilisasi maupun yang terimmobilisasi sesuai variabel yang ditentukan, yaitu 100, 150, dan 200 mg ke dalam larutan logam
- Mengkontakkan biomassa alga non imobilisasi maupun imobilisasi sesuai variabel yang ditentukan yaitu jumlah biomassa 100, 150, dan 200 mg/l dengan rotary shaker selama 60 menit dengan pengambilan sampel pada menit ke 15, 45, dan 60.
- Menyaring filtrat larutan logam setelah dikontakkan dengan biomassa alga dengan kertas saring
- Menganalisa filtrat dengan AAS
- Hasil analisa AAS merupakan kadar ion logam yang tidak teradsorpsi oleh biomassa alga

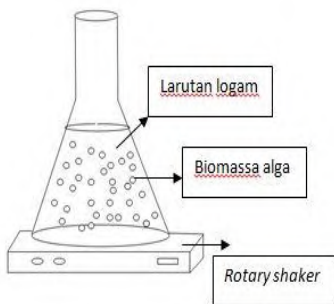
3.6

Gambar Alat



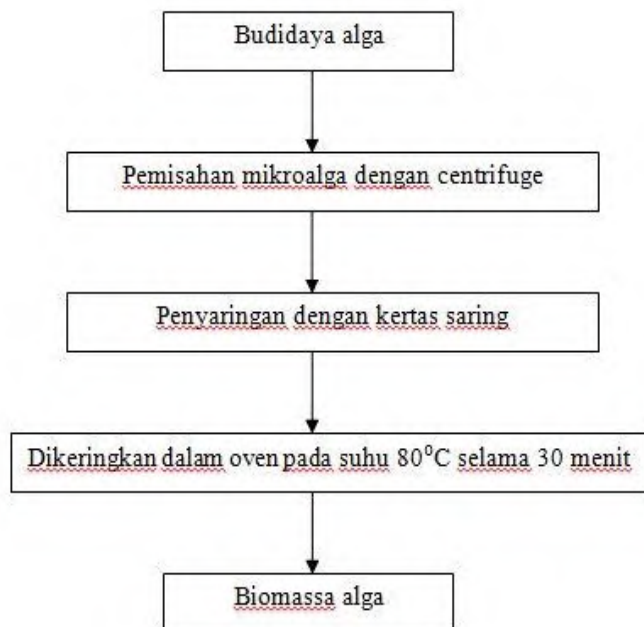
Keterangan :

1. Aerator
2. Reaktor kultur alga
3. Selang
4. Lampu neon 36 watt
5. Beaker glass
6. Rotary shaker



3.7 Prosedur Kerja

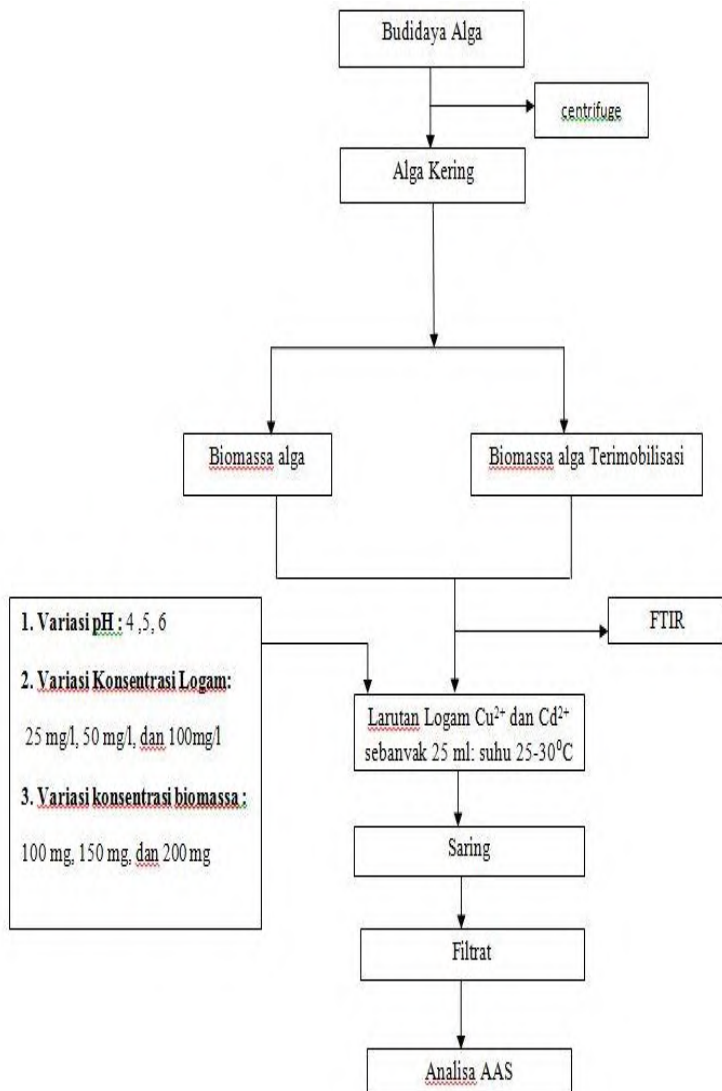
Prosedur Pembuatan Biomassa *Chlorella vulgaris*



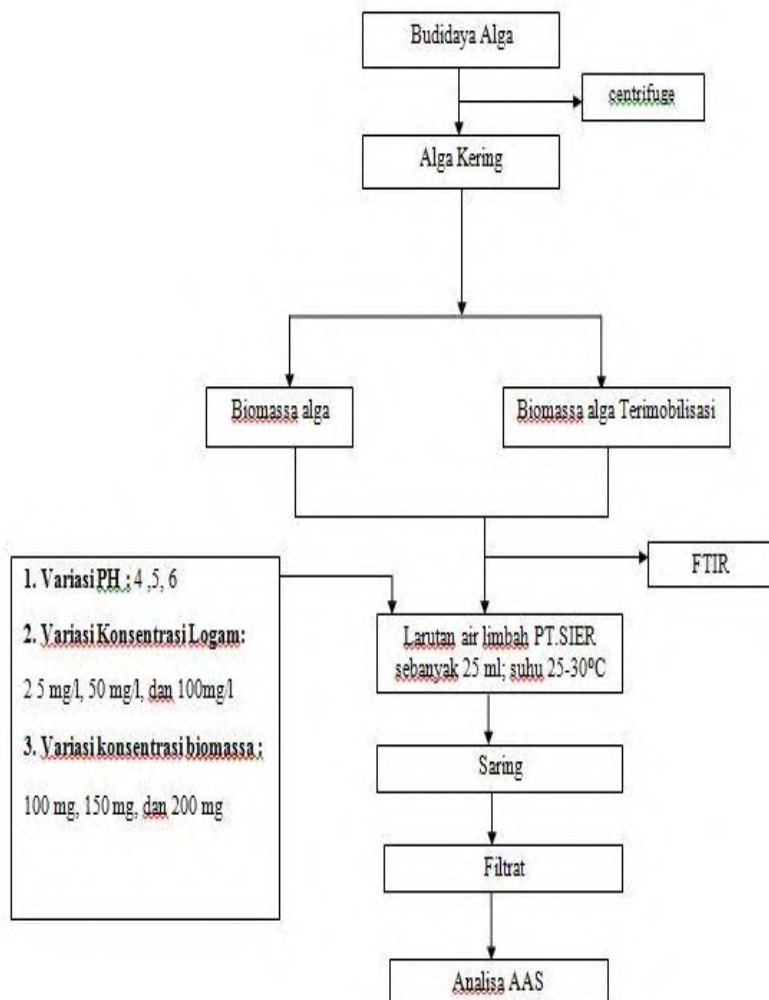
Prosedur pembuatan biomassa *Chlorella vulgaris* yang terimmobilisasi silica gel



Prosedur adsorpsi untuk larutan logam sintesis Cu dan Cd



Prosedur adsorpsi untuk air limbah industri yang mengandung logam

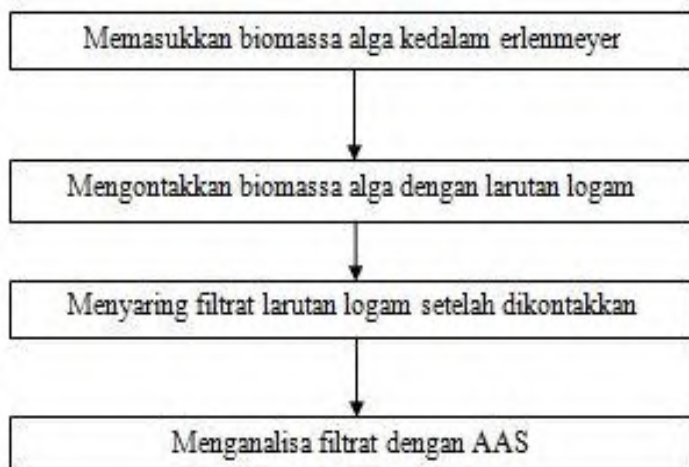


3.8 Prosedur analisa

Analisa pengujian FTIR



Analisa pengujian AAS



BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk Mempelajari efektifitas penyerapan ion logam oleh biomassa alga dan biomassa alga terimmobilisasi sebagai adsorben dengan beberapa variabel yang telah ditentukan, serta membandingkan penyerapan ion logam oleh biomassa alga dan biomassa alga yang terimmobilisasi pada larutan logam sintetis dan air limbah industri.

Proses penelitian ini dilakukan dalam 3 tahap, yaitu kultur alga, pembuatan biomassa alga, dan proses adsorbsi. Pada tahap kultur alga, 300 ml *Chlorella vulgaris* dikembangkan dengan 700 ml air tawar dan ditambahkan dengan nutrisi berupa walne sebanyak 1 ml selama kurang lebih 5 hari. Hal ini bertujuan agar mikroalga mencapai fase logaritmik pertumbuhannya. Setelah tahap ini kemudian dilanjutkan tahap panen alga untuk mendapatkan alga kering. Pada tahap ini juga dilakukan scale up kultur alga agar didapatkan kultur alga dengan volume yang semakin besar. Tahap ini dilakukan untuk persiapan pembuatan biomassa alga dan biomassa alga terimmobilisasi sebagai adsorben. Alga yang telah di kultur selama 5 hari (mencapai fase logaritmik) di pisahkan dari air nya dengan menggunakan centrifuge, kemudian alga dipisahkan dengan kertas saring whatman dan di oven pada suhu 60°C selama kurang lebih 10 menit untuk mendapatkan biomassa alga kering yang akan digunakan sebagai adsorben baik non immobilisasi maupun immobilisasi.

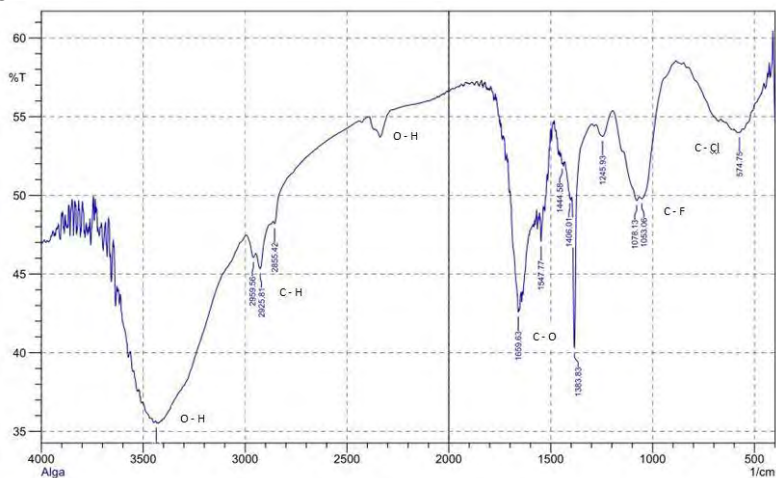
Proses selanjutnya adalah proses adsorbsi biomassa alga dengan larutan logam yang berupa larutan sintetis dan larutan air limbah industri. Logam yang digunakan untuk penelitian ini adalah tembaga dan cadmium. Pada proses adsorbsi ini di tentukan beberapa variabel untuk mempelajari pengaruhnya terhadap proses adsorbsi. Variabel yang digunakan adalah pengaruh pH, konsentrasi logam, dan jumlah biomassa terhadap proses adsorbsi.

4.1 Karakterisasi biomassa alga *chlorella vulgaris*

Dalam penelitian ini karakterisasi biomassa alga hijau dilakukan dengan menggunakan analisa FT-IR. Dengan menggunakan FT-IR diharapkan dapat diidentifikasi gugus fungsional apa saja yang terdapat pada biomassa alga hijau non imobilisasi serta alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel. Gugus fungsional inilah yang nantinya akan berperan dalam proses adsorpsi ion logam dengan adsorben, dalam hal ini adsorben yang digunakan adalah biomassa alga dan biomassa alga terimmobilisasi.

- Gugus fungsional biomassa alga hijau non imobilisasi

Hasil identifikasi gugus fungsional biomassa alga non imobilisasi sebelum interaksi dengan ion logam dapat dilihat pada gambar 4.1



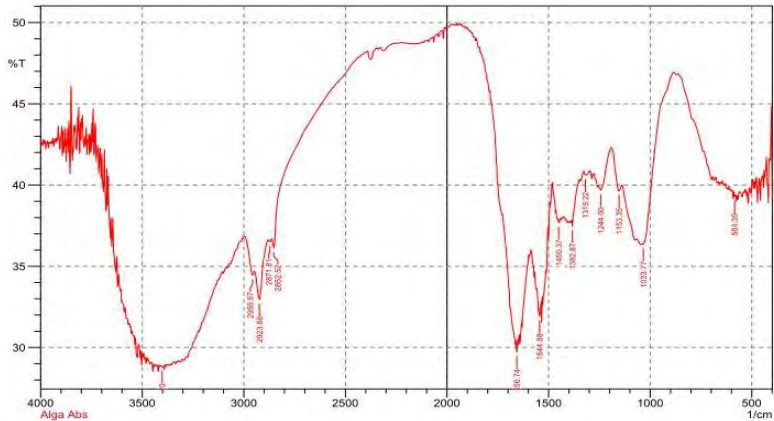
Gambar 4.1.1. Spektrum FT-IR alga *chlorella vulgaris* non imobilisasi sebelum dikontakkan dengan ion logam

Berdasarkan spektrum FT-IR alga hijau non imobilisasi sebelum interaksi dengan ion logam Cu^{2+} tampak serapan medium di sekitar bilangan gelombang 3435.95 cm^{-1} merupakan

serapan dari vibrasi ulur N-H primer. Adanya serapan tajam disekitar bilangan gelombang 3550 cm^{-1} merupakan serapan vibrasi ulur dari gugus OH-alkohol dan serapan lebar disekitar bilangan gelombang 2925.81 cm^{-1} . Serapan ini menunjukkan adanya vibrasi ulur OH dari asam karboksilat. Pita serapan disekitar bilangan gelombang 2855.42 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi ulur C-H. Kemudian adanya serapan kuat disekitar bilangan gelombang 1547.77 cm^{-1} , menunjukkan adanya vibrasi uluran C=O (karboksilat, ester). Disekitar bilangan gelombang 1406.01 cm^{-1} terdapat serapan yang menunjukkan adanya vibrasi tekuk OH-karboksilat. Adanya pita serapan lebar disekitar bilangan gelombang 1245.93 cm^{-1} , menunjukkan adanya vibrasi ulur C-O. Pita serapan disekitar bilangan gelombang 1053.06 cm^{-1} diidentifikasi sebagai vibrasi ulur asimetri Si-O-Si. Sedangkan pita serapan disekitar bilangan gelombang 574.75 cm^{-1} diidentifikasi sebagai vibrasi tekuk C-H.

Dinding sel biomassa alga hijau terdiri dari polisakarida dan protein, beberapa diantaranya mengandung gugus karboksil, sulfat, amino. Oleh karena itu, berdasarkan spektrum FT-IR di atas, diinterpretasikan bahwa gugus fungsional yang terdapat pada biomassa alga hijau diantaranya adalah adanya (1) gugus hidroksil (-OH) dari polisakarida, (2) gugus C=O peptida (-CONH-) berasal dari protein.

Sedangkan untuk hasil identifikasi gugus fungsional biomassa alga non imobilisasi sesudah interaksi dengan ion logam dapat dilihat pada gambar 4.2



Gambar 4.1.2. Spektrum FT-IR alga *chlorella vulgaris* non immobilisasi setelah dikontakkan dengan ion logam

Berdasarkan spektrum FT-IR biomassa alga hijau non immobilisasi setelah dikontakkan dengan ion logam, tampak pita serapan medium sekitar bilangan gelombang 3402.2 cm^{-1} yang merupakan serapan dari vibrasi ulur N-H primer. Adanya serapan tajam disekitar bilangan gelombang 3500 cm^{-1} merupakan serapan vibrasi ulur dari gugus OH-alkohol dan adanya serapan lebar disekitar bilangan gelombang 2871.81 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi ulur OH dari asam karboksilat. Adanya serapan kuat disekitar bilangan gelombang 1656.74 cm^{-1} diidentifikasi sebagai vibrasi uluran C=O (karboksilat, ester). Terdapat pula serapan disekitar bilangan gelombang 1382.87 cm^{-1} yang menunjukkan adanya vibrasi tekuk OH- karboksilat. Adanya pita serapan lebar disekitar bilangan gelombang 1153.35 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi ulur asimetri Si-O-Si. Sedangkan pita serapan disekitar bilangan gelombang 1244 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi ulur C-O dan vibrasi tekuk O-H. Pita serapan disekitar bilangan gelombang 584.39 cm^{-1} . serapan ini menunjukkan adanya vibrasi tekuk C-H.

Berdasarkan spektrum FT-IR alga hijau non immobilisasi sebelum dan setelah interaksi dengan ion logam Cu^{2+} tampak

adanya pergeseran-pergeseran bilangan gelombang yang dapat disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1.1. Pergeseran bilangan gelombang alga hijau non imobilisasi sebelum dan setelah interaksi dengan Cu(II)

Sebelum kontak	Setelah kontak	Pergeseran	Keterangan
1245.93	1244	1.93	C-O
1547.77	1544.88	2.89	C=O
2855.42	2852.52	2.9	C-H
2925.81	2871.81	54	O-H karboksilat
3435,95	3402,2	33.75	N-H primer
3550	3500	50	O-H alkohol

Gugus-gugus fungsi yang mengalami pergeseran bilangan gelombang tersebut diasumsikan sebagai gugus-gugus fungsi yang kemungkinan berperan dalam proses adsorpsi.

4.2 Pengaruh variasi pH dari larutan logam terhadap adsorpsi ion logam Cu (II) dan Cd (II) oleh biomassa alga chlorella vulgaris

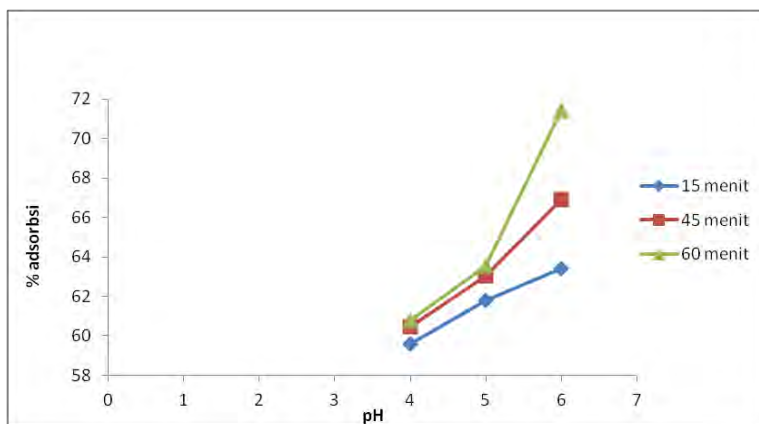
Adsorpsi ion logam Cu (II) dan Cd (II) dilakukan dengan mengkontakkan 100 mg biomassa alga chlorella vulgaris baik non imobilisasi maupun biomassa chlorella vulgaris yang diimobilisasi dengan silika gel, dengan 50 mL larutan ion logam Cu (II) dan Cd (II) baik larutan sintesis maupun air limbah industri. Konsentrasi larutan logam dibuat tetap dengan konsentrasi 25 mg/L, sedangkan pH divariasikan dengan pH 4, 5, dan 6 untuk mendapatkan pH optimal dalam proses adsorpsi ion logam. Waktu yang digunakan adalah 60 menit atau ketika biomassa sudah dalam keadaan jenuh sehingga proses adsorpsi berjalan secara relative konstan. Dalam proses adsorpsi ion logam sampel larutan diambil tiap 15 menit awal, 45 awal, dan 60 menit. Sampel tersebut kemudian adalah sampel yang akan dianalisa dengan AAS untuk mengetahui kadar ion logam yang ada dalam larutan sampel. Kadar ion logam yang terukur merupakan kadar ion logam yang tidak teradsorpsi oleh

biomassa alga chlorella vulgaris baik yang diimmobilisasi pada silika gel ataupun biomassa chlorella vulgaris non immobilisasi. Hasil adsorpsi ion logam Cu (II) dan Cd (II) dengan variasi pH ditampilkan pada Tabel 4.21- 4.2.9 dan Gambar 4.2.1- 4.2.9 berikut :

- **Larutan logam sintetis**

Tabel 4.2.1. Hasil adsorpsi ion logam Cu (II) sintetis oleh biomassa alga **non immobilisasi** dengan variasi pH

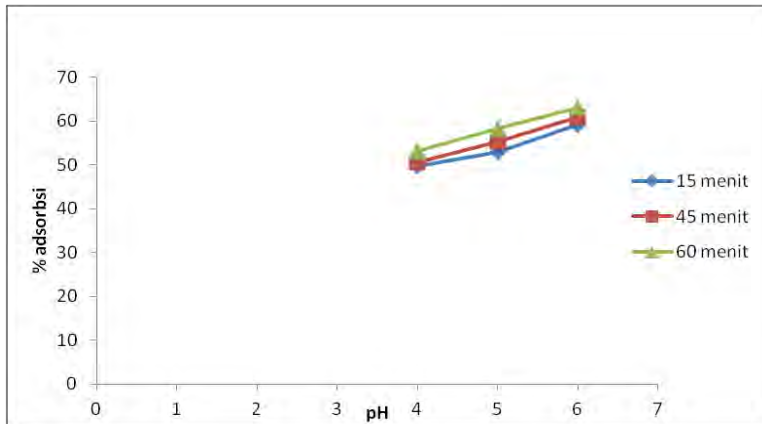
Waktu (menit)	pH	Konsentrasi Cu awal (mg/l)	Biomassa (mg)	Konsentrasi Cu sisa (mg/l)	% adsorpsi	Adsorp Cu/bio (mg/g)
15	4	25	100	10.1	59.6	7.45
	5	25	100	9.55	61.8	7.725
	6	25	100	9.15	63.4	7.925
45	4	25	100	9.88	60.48	7.56
	5	25	100	9.24	63.04	7.88
	6	25	100	8.28	66.88	8.36
60	4	25	100	9.81	60.76	7.595
	5	25	100	9.11	63.56	7.945
	6	25	100	7.15	71.4	8.925



Gambar 4.2.1. Grafik pengaruh pH terhadap % adsorpsi logam Cu (II) oleh biomassa non immobilisasi dalam larutan sintetis

Tabel 4.2.2. Hasil adsorpsi ion logam Cd (II) sintetis oleh biomassa alga **non imobilisasi** dengan variasi pH

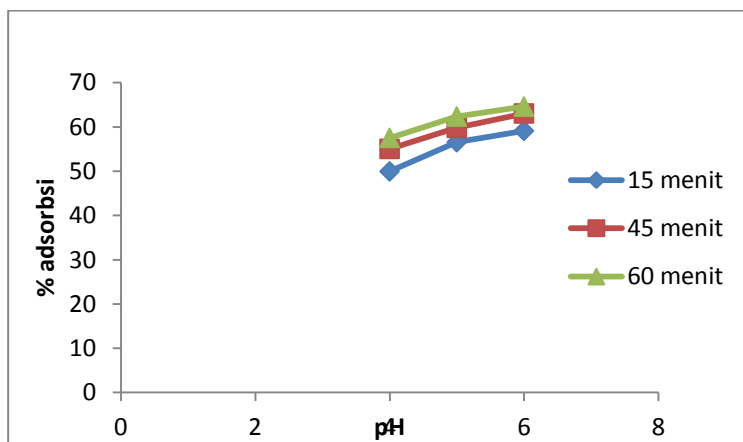
Waktu (menit)	pH	Konsentrasi Cd awal (mg/l)	Biomassa (mg)	Konsentrasi Cd sisa (mg/l)	% adsorpsi	Adsorp Cd/bio (mg/g)
15	4	25	100	12.58	49.68	6.21
	5	25	100	11.76	52.96	6.62
	6	25	100	10.22	59.12	7.39
45	4	25	100	12.35	50.6	6.325
	5	25	100	11.18	55.28	6.91
	6	25	100	9.76	60.96	7.62
60	4	25	100	11.72	53.12	6.64
	5	25	100	10.42	58.32	7.29
	6	25	100	9.24	63.04	7.88



Gambar 4.2.2. Grafik pengaruh pH terhadap % adsorpsi logam Cd(II) oleh biomassa non imobilisasi dalam larutan sintetis

Tabel 4.2.3. Hasil adsorpsi ion logam Cu (II) sintetis oleh biomassa alga **imobilisasi** dengan variasi pH

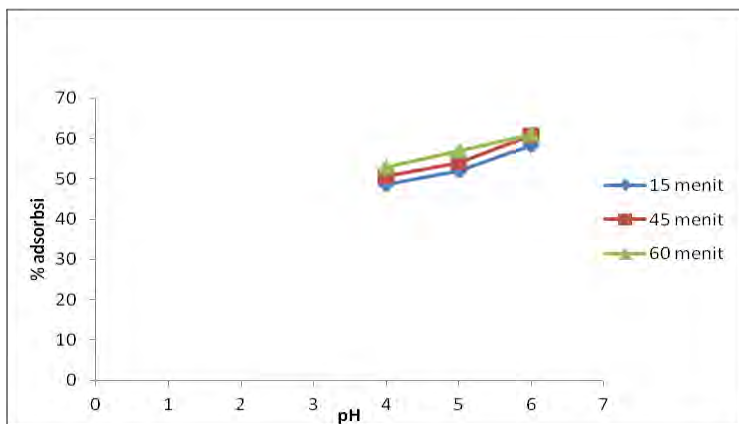
Waktu (menit)	pH	Konsentrasi Cu awal (mg/l)	Biomassa (mg)	Konsentrasi Cu sisa (mg/l)	% adsorpsi	Adsorp Cu/bio (mg/g)
15	4	25	100	12.51	49.96	6.245
	5	25	100	10.86	56.56	7.07
	6	25	100	10.22	59.12	7.39
45	4	25	100	11.24	55.04	6.88
	5	25	100	10.05	59.8	7.475
	6	25	100	9.24	63.04	7.88
60	4	25	100	10.62	57.52	7.19
	5	25	100	9.41	62.36	7.795
	6	25	100	8.85	64.6	8.075



Gambar 4.2.3. Grafik pengaruh pH terhadap % adsorpsi logm Cu (II) oleh biomassa alga imobilisasi dalam larutan sintetis

Tabel 4.2.4 Hasil adsorpsi ion logam Cd (II) sintetis oleh biomassa alga **imobilisasi** dengan variasi pH

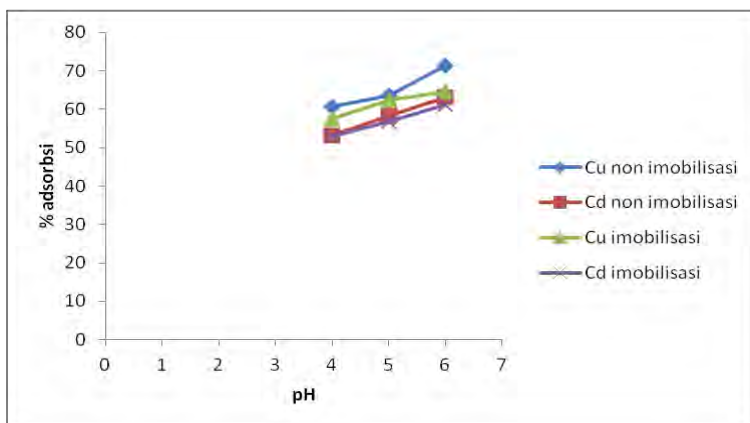
Waktu (menit)	pH	Konsentrasi Cd awal (mg/l)	Biomassa (mg)	Konsentrasi Cd awal (mg/l)	% adsorpsi	Adsorp Cd/bio (mg/g)
15	4	25	100	12.86	48.56	6.07
	5	25	100	11.98	52.08	6.51
	6	25	100	10.45	58.2	7.275
45	4	25	100	12.35	50.6	6.325
	5	25	100	11.52	53.92	6.74
	6	25	100	9.81	60.76	7.595
60	4	25	100	11.76	52.96	6.62
	5	25	100	10.78	56.88	7.11
	6	25	100	9.72	61.12	7.64



Gambar 4.2.4. Grafik pengaruh pH terhadap % adsorpsi logam Cd (II) oleh biomassa alga imobilisasi dalam larutan sintesis

Tabel 4.2.5. Perbandingan hasil adsorpsi logam Cu (II) dan Cd (II) dengan biomassa non imobilisasi dan biomassa terimmobilisasi dalam larutan sintesis

Waktu	pH	Non imobilisasi				imobilisasi			
		Cu		Cd		Cu		Cd	
		Cu sisa (mg/l)	% adsorbsi	Cd sisa (mg/l)	% adsorbsi	Cu sisa (mg/l)	% adsorbsi	Cd sisa (mg/l)	% adsorbsi
15	4	10.1	59.6	12.58	49.68	12.51	49.96	12.86	48.56
	5	9.55	61.8	11.76	52.96	10.86	56.56	11.98	52.08
	6	9.15	63.4	10.22	59.12	10.22	59.12	10.45	58.2
45	4	9.88	60.48	12.35	50.6	11.24	55.04	12.35	50.6
	5	9.24	63.04	11.18	55.28	10.05	59.8	11.52	53.92
	6	8.28	66.88	9.76	60.96	9.24	63.04	9.81	60.76
60	4	9.81	60.76	11.72	53.12	10.62	57.52	11.76	52.96
	5	9.11	63.56	10.42	58.32	9.41	62.36	10.78	56.88
	6	7.15	71.4	9.24	63.04	8.85	64.6	9.72	61.12

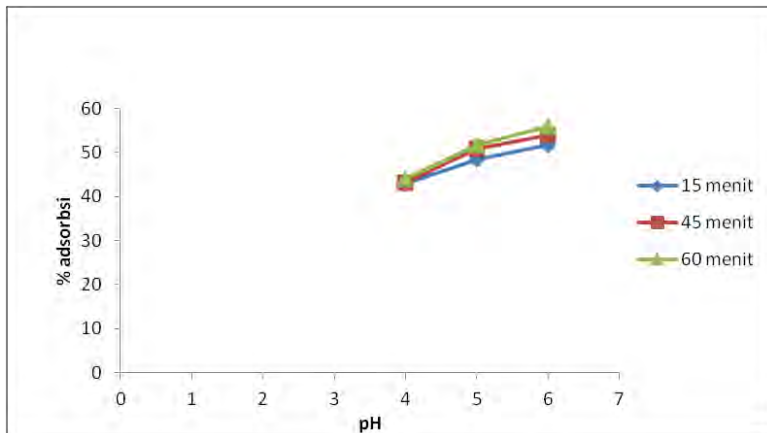


Gambar 4.2.5. Grafik perbandingan adsorpsi logam Cu (II) dan Cd (II) oleh biomassa non imobilisasi dan terimmobilisasi dengan variasi pH dalam larutan sintesis

• **Larutan Limbah**

Tabel 4.2.6. Hasil adsorpsi ion logam Cu (II) oleh biomassa **alga non imobilisasi** dengan variasi pH dalam air limbah

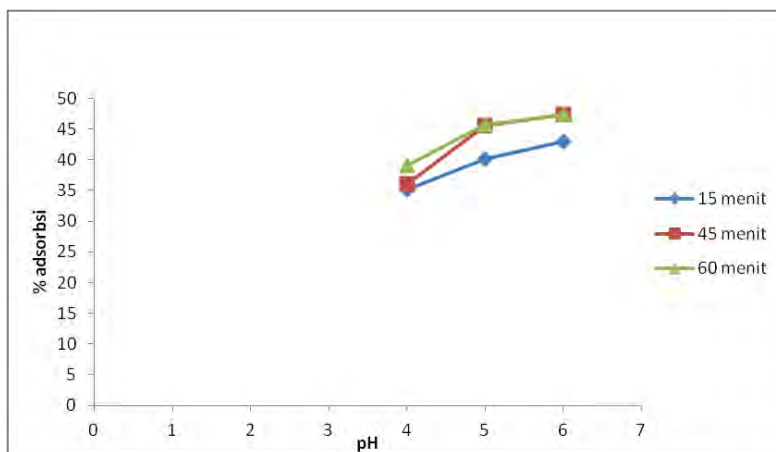
Waktu (menit)	pH	Konsentrasi Cu awal (mg/l)	Biomassa (mg)	Konsentrasi Cu sisa (mg/l)	% adsorpsi	Adsorp Cu/bio (mg/g)
15	4	25	100	14.26	42.96	5.37
	5	25	100	12.88	48.48	6.06
	6	25	100	12.05	51.8	6.475
45	4	25	100	14.21	43.16	5.395
	5	25	100	12.32	50.72	6.34
	6	25	100	11.51	53.96	6.745
60	4	25	100	13.98	44.08	5.51
	5	25	100	12.08	51.68	6.46
	6	25	100	11.02	55.92	6.99



Gambar 4.2.6. Grafik pengaruh pH terhadap % adsorpsi logam Cu(II) oleh biomassa non imobilisasi dalam air limbah

Tabel 4.2.7. Hasil adsorpsi ion logam Cd (II) oleh biomassa alga non imobilisasi dengan variasi pH dalam air limbah

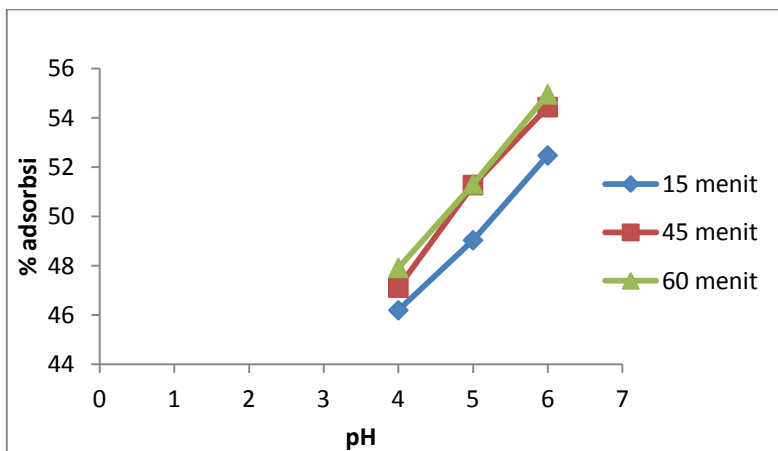
Waktu (menit)	pH	Konsentrasi Cd awal (mg/l)	Biomassa (mg)	Konsentrasi Cd sisa (mg/l)	% adsorpsi	Adsorp Cd/bio (mg/g)
15	4	25	100	16.21	35.16	4.395
	5	25	100	14.97	40.12	5.015
	6	25	100	14.25	43	5.375
45	4	25	100	15.98	36.08	4.51
	5	25	100	13.62	45.52	5.69
	6	25	100	13.15	47.4	5.925
60	4	25	100	15.24	39.04	4.88
	5	25	100	13.58	45.68	5.71
	6	25	100	13.15	47.4	5.925



Gambar 4.2.7. Grafik pengaruh pH terhadap % adsorpsi logam Cd(II) oleh biomassa non imobilisasi dalam air limbah

Tabel 4.2.8. Hasil adsorpsi ion logam Cu (II) oleh biomassa alga imobilisasi dengan variasi pH

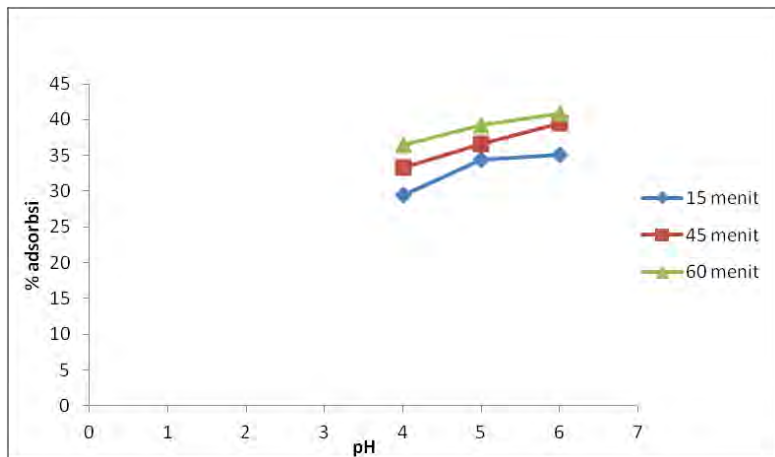
Waktu (menit)	pH	Konsentrasi Cu awal (mg/l)	Biomassa (mg)	Konsentrasi Cu sisa (mg/l)	% adsorpsi	Adsorp Cu/bio (mg/g)
15	4	25	100	13.45	46.2	5.775
	5	25	100	12.74	49.04	6.13
	6	25	100	11.88	52.48	6.56
45	4	25	100	13.22	47.12	5.89
	5	25	100	12.18	51.28	6.41
	6	25	100	11.39	54.44	6.805
60	4	25	100	13.02	47.92	5.99
	5	25	100	12.17	51.32	6.415
	6	25	100	11.26	54.96	6.87



Gambar 4.2.8. Grafik pengaruh pH terhadap % adsorpsi logam Cu(II) oleh biomassa imobilisasi dalam air limbah

Tabel 4.2.9. Hasil adsorpsi ion logam Cd (II) oleh biomassa alga imobilisasi dengan variasi pH

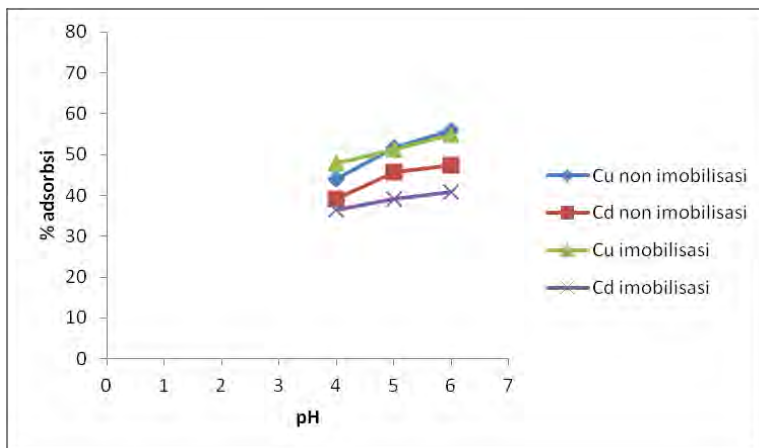
Waktu (menit)	pH	Konsentrasi Cd awal (mg/l)	Biomassa (mg)	Konsentrasi Cd sisa (mg/l)	% adsorpsi	Adsorp Cd/bio (mg/g)
15	4	25	100	17.64	29.44	3.68
	5	25	100	16.41	34.36	4.295
	6	25	100	16.21	35.16	4.395
45	4	25	100	16.66	33.36	4.17
	5	25	100	15.84	36.64	4.58
	6	25	100	15.11	39.56	4.945
60	4	25	100	15.88	36.48	4.56
	5	25	100	15.2	39.2	4.9
	6	25	100	14.79	40.84	5.105



Grafik 4.2.9 Grafik pengaruh pH terhadap % adsorpsi logam Cd (II) oleh biomassa imobilisasi dalam air limbah

Tabel 4.2.10. Perbandingan hasil adsorpsi logam Cu (II) dan Cd (II) dengan biomassa non imobilisasi dan biomassa terimmobilisasi dalam air limbah

Waktu	pH	Non imobilisasi				Imobilisasi			
		Cu		Cd		Cu		Cd	
		Cu sisa (mg/l)	% adsorbsi	Cd sisa (mg/l)	% adsorbsi	Cu sisa (mg/l)	% adsorbsi	Cd sisa (mg/l)	% adsorbsi
15	4	14.26	42.96	16.21	35.16	13.45	46.2	17.64	29.44
	5	12.88	48.48	14.97	40.12	12.74	49.04	16.41	34.36
	6	12.05	51.8	14.25	43	11.88	52.48	16.21	35.16
45	4	14.21	43.16	15.98	36.08	13.22	47.12	16.66	33.36
	5	12.32	50.72	13.62	45.52	12.18	51.28	15.84	36.64
	6	11.51	53.96	13.15	47.4	11.39	54.44	15.11	39.56
60	4	13.98	44.08	15.24	39.04	13.02	47.92	15.88	36.48
	5	12.08	51.68	13.58	45.68	12.17	51.32	15.2	39.2
	6	11.02	55.92	13.15	47.4	11.26	54.96	14.79	40.84



Gambar 4.2.10. Grafik perbandingan adsorpsi limbah logam Cu (II) dan Cd (II) oleh biomassa non imobilisasi dan terimmobilisasi dengan variasi pH

Derajat keasaman (pH) merupakan faktor utama yang mempengaruhi proses adsorpsi logam di dalam larutan, karena pH yang bervariasi akan berpengaruh pada muatan yang terdapat pada situs aktif alga hijau. Hal ini dikarenakan dengan perubahan pH pada larutan dapat mempengaruhi gugus fungsi penyusun biomassa alga.

Dari Grafik pengaruh pH terhadap efektifitas penyerapan logam yang telah dicantumkan sebelumnya memperlihatkan bahwa jumlah tembaga atau kadmium yang terserap oleh biomassa alga hijau sangat dipengaruhi oleh pH dari larutan logam tersebut. Adsorpsi ion logam Cu (II) dan Cd (II) dengan biomassa alga hijau non imobilisasi maupun biomassa alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan pH. Pada pH rendah, permukaan padatan bermuatan positif karena terjadi protonasi pada gugus anionik, seperti karboksilat ataupun amino. Sehingga bila pH larutan diturunkan, maka akan terjadi protonasi gugus basa lemah pada permukaan sel biomassa tersebut, sehingga semakin rendah pH larutan menyebabkan semakin banyak gugus basa lemah yang terprotonasi dan akibatnya kemampuan biomassa untuk menyerap logam semakin lemah. Ditambah lagi dengan adanya kompetisi ion H^+ dengan kation logam. Karena sama-sama memiliki muatan positif (antara muatan pada permukaan alga dengan kation logam), sehingga terjadi tolakan yang menyebabkan daya serap menjadi rendah. Sedangkan pada pH tinggi permukaan padatan bermuatan negatif karena terjadi deprotonasi pada gugus hidroksil atau amino, oleh karena itu daya serap ion logam Cu (II) dan Cd (II) meningkat.

Hasil terbaik Cu dan Cd teradsorpsi pada larutan logam sintetis untuk biomassa non imobilisasi sebesar 71,4% dan 63,04%. Dengan jumlah Cu dan Cd terserap per gram biomassa sebesar 8,925 mg/g dan 7,88 mg/g pada pH penyerapan maksimumnya yaitu pH 6 dan pada waktu penyerapan 60 menit.

Sedangkan untuk biomassa terimobilisasi didapatkan penyerapan terbaik Cu dan Cd pada larutan logam sintetis sebesar 64,6% dan 61,12%. Dengan jumlah Cu dan Cd terserap per gram biomassa sebesar 8,075 mg/g dan 7,64 mg/g.

Sedangkan untuk adsorpsi logam Cu dan Cd dengan air limbah industri mengalami penurunan daya penyerapan logam baik pada biomassa imobilisasi maupun non imobilisasi. Hal ini dikarenakan pada air limbah terdapat kandungan yang lebih kompleks dibandingkan dengan larutan logam sintetis. Keberadaan ion lain dalam larutan menyebabkan proses penyerapan logam berat tidak maksimal, sebagai contoh bahwa adanya ion Ca^{2+} dapat menghambat pengambilan ion Cd^{2+} , Ni^{2+} , Mn^{2+} , dan Co^{2+} . Penghambatan terjadi karena terjadi kompetisi antara ion Ca^{2+} dengan ion logam berat untuk berikatan dengan gugus aktif pada permukaan sel. Selain itu didalam larutan limbah industri terdapat kandungan ion logam lain seperti nikel, sehingga menyebabkan semakin banyaknya ion logam yang berkompetisi dalam pengikatan logam pada biomassa alga.

Pada biomassa non imobilisasi, serapan maksimum diperoleh pada pH 6 dengan jumlah Cu dan Cd teradsorpsi sebesar 55,92 % dan 47,4%. Dengan jumlah Cu dan Cd terserap per gram biomassa sebesar 6,99 mg/g dan 5,925 mg/g.

Sedangkan pada biomassa imobilisasi, serapan maksimum diperoleh pada pH 6 dengan jumlah Cu dan Cd teradsorpsi sebesar 54,96 % dan 40,84%. Dengan jumlah Cu dan Cd terserap per gram biomassa sebesar 6,87 mg/g dan 5,105 mg/g.

Biomassa alga hijau yang di imobilisasi pada silika gel memiliki persen serapan yang lebih rendah daripada biomassa non imobilisasi, hal ini disebabkan oleh adanya silika yang berikatan dengan gugus fungsional yang terdapat pada biomassa sehingga menyebabkan berkurangnya situs aktif pada biomassa alga hijau.

Berdasarkan penelitian sebelumnya dan literatur, Proses immobilisasi selain dapat meningkatkan situs-situs adsorpsi juga dapat mengurangi situs aktif karena terjadinya interaksi antara gugus-gugus fungsi pada biomassa dan polimer pendukung yang berakibat kurang tersedianya untuk berikatan dengan ion logam. Kapasitas adsorpsi pada biomassa terimmobilisasi dapat disebabkan oleh dua alasan : (1) berkurangnya gugus aktif pada biomassa akibat proses imobilisasi, (2) selama proses immobilisasi terjadi agregasi

biomassa yang juga menurunkan kemampuan adsorpsi karena berkurangnya luas permukaan.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan di dapatkan hasil bahwa adsorpsi pada biomassa alga yang terimmobilisasi pada silika gel mempunyai daya serap yang lebih rendah dibandingkan dengan biomassa alga yang tidak di immobilisasi. Namun, upaya immobilisasi tetap disarankan karena selain menghasilkan adsorben dengan kekuatan partikel yang lebih baik, porositas dan ketahanan kimia yang tinggi, juga tahan terhadap dekomposisi oleh mikroorganisme lain serta adsorben dengan biomassa alga terimmobilisasi dapat di *recovery* atau digunakan kembali.

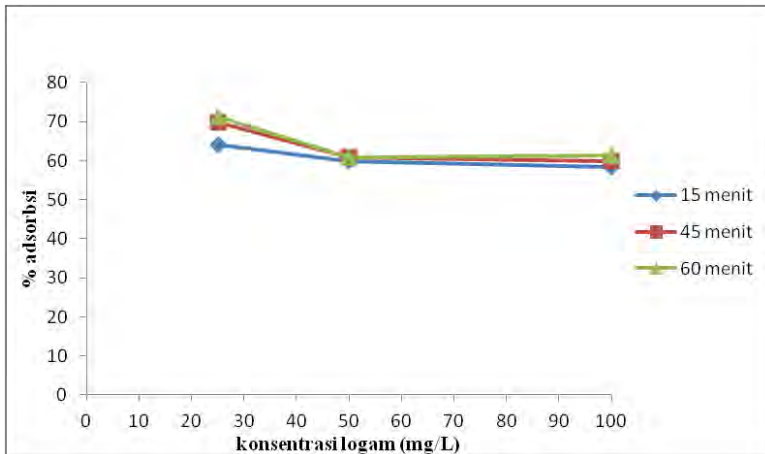
4.3. Pengaruh variasi konsentrasi logam terhadap adsorpsi ion logam Cu (II) dan Cd (II) oleh biomassa alga *chlorella vulgaris*.

Dengan adanya variasi konsentrasi ion logam pada adsorpsi logam menggunakan alga hijau non immobilisasi dan alga hijau yang diimmobilisasi pada silika gel akan didapatkan dapat informasi tentang kapasitas adsorpsi dari alga hijau non immobilisasi dan alga hijau yang diimmobilisasi pada silika gel yang didapat dari isoterm adsorpsinya. Logam divariasikan pada konsentrasi 25, 50, dan 100 mg/L. Kondisi pH yang digunakan adalah pH terbaik yang didapatkan pada percobaan variasi pH, yaitu pH 6. Selanjutnya, kadar ion logam setelah dilakukan proses adsorpsi di ukur konsentrasinya dengan menggunakan analisa AAS. Kadar ion logam yang terukur merupakan kadar ion logam yang tidak teradsorpsi oleh adsorben. Hasil serapan ion logam Cd (II) dan Cu (II) dengan variasi konsentrasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.3.1 – 4.3.9 dan Gambar 4.3.1 – 4.3.9 sebagai berikut :

- **Larutan logam sintetis**

Tabel 4.3.1. Hasil adsorpsi ion logam Cu (II) oleh biomassa alga **non imobilisasi** dengan variasi konsentrasi logam dalam larutan sintetis

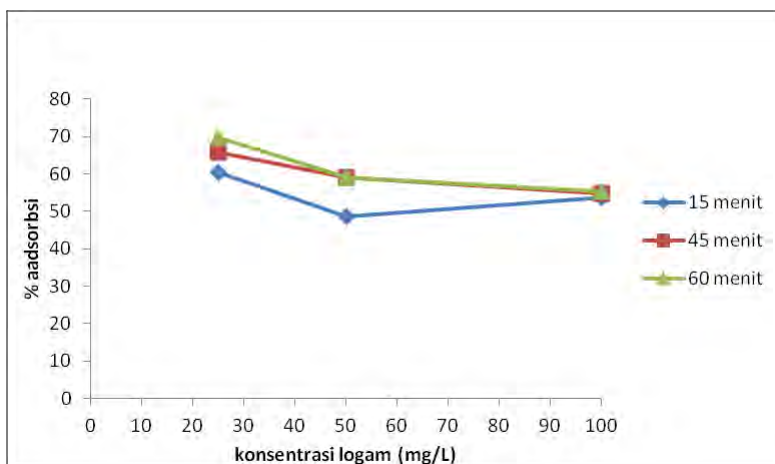
Waktu (menit)	pH	Konsentrasi Cu awal (mg/l)	Biomassa (mg)	Konsentrasi Cu sisa (mg/l)	% adsorpsi	Adsorp Cu/bio (mg/g)
15	6	25	100	8.98	64.08	8.01
	6	50	100	20.12	59.76	14.94
	6	100	100	41.76	58.24	29.12
45	6	25	100	7.54	69.84	8.73
	6	50	100	19.62	60.76	15.19
	6	100	100	40.22	59.78	29.89
60	6	25	100	7.19	71.24	8.905
	6	50	100	19.59	60.82	15.205
	6	100	100	38.65	61.35	30.675



Gambar 4.3.1. Grafik pengaruh konsentrasi logam terhadap % adsorpsi logam Cu (II) oleh biomassa non imobilisasi dalam larutan sintetis

Tabel 4.3.2. Hasil adsorpsi ion logam Cd (II) oleh biomassa alga **non imobilisasi** dengan variasi konsentrasi logam dalam larutan sintetis

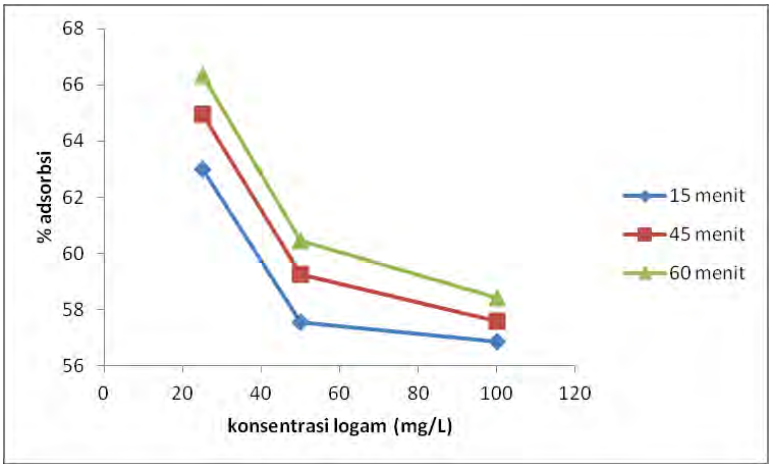
Waktu (menit)	pH	Konsentrasi Cd awal (mg/l)	Biomassa (mg)	Konsentrasi Cd sisa (mg/l)	% adsorpsi	Adsorp Cd/bio (mg/g)
15	6	25	100	9.88	60.48	7.56
	6	50	100	25.68	48.64	12.16
	6	100	100	46.21	53.79	26.895
45	6	25	100	8.54	65.84	8.23
	6	50	100	20.52	58.96	14.74
	6	100	100	45.15	54.85	27.425
60	6	25	100	7.58	69.68	8.71
	6	50	100	20.48	59.04	14.76
	6	100	100	44.62	55.38	27.69



Gambar 4.3.2. Grafik pengaruh konsentrasi logam terhadap % adsorpsi logam Cd (II) oleh biomassa non imobilisasi dalam larutan sintetis

Tabel 4.3.2. Hasil adsorpsi ion logam Cu (II) oleh biomassa alga imobilisasi dengan variasi konsentrasi logam dalam larutan sintesis

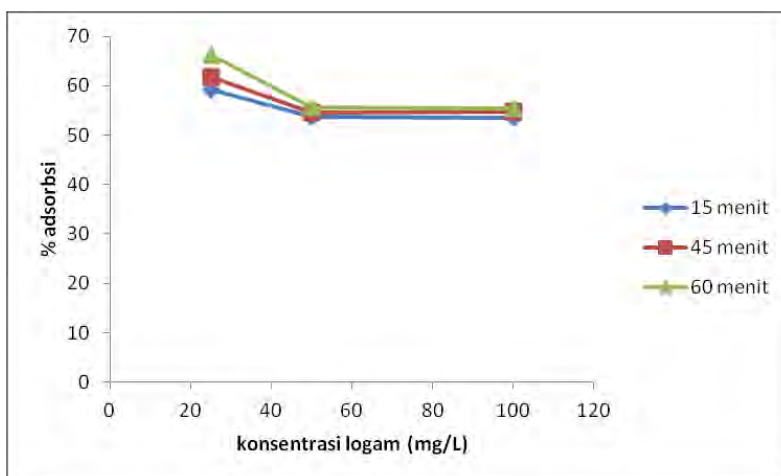
Waktu (menit)	pH	Konsentrasi Cu awal (mg/l)	Biomassa (mg)	Konsentrasi Cu sisa (mg/l)	% adsorpsi	Adsorp Cu/bio (mg/g)
15	6	25	100	9.25	63	7.875
	6	50	100	21.22	57.56	14.39
	6	100	100	43.14	56.86	28.43
45	6	25	100	8.76	64.96	8.12
	6	50	100	20.37	59.26	14.815
	6	100	100	42.41	57.59	28.795
60	6	25	100	8.42	66.32	8.29
	6	50	100	19.77	60.46	15.115
	6	100	100	41.59	58.41	29.205



Gambar 4.3.3. Grafik pengaruh konsentrasi logam terhadap % adsorpsi logam Cu (II) oleh biomassa imobilisasi dalam larutan sintesis

Tabel 4.3.3. Hasil adsorpsi ion logam Cd (II) oleh biomassa alga imobilisasi dengan variasi konsentrasi logam dalam larutan sintetis

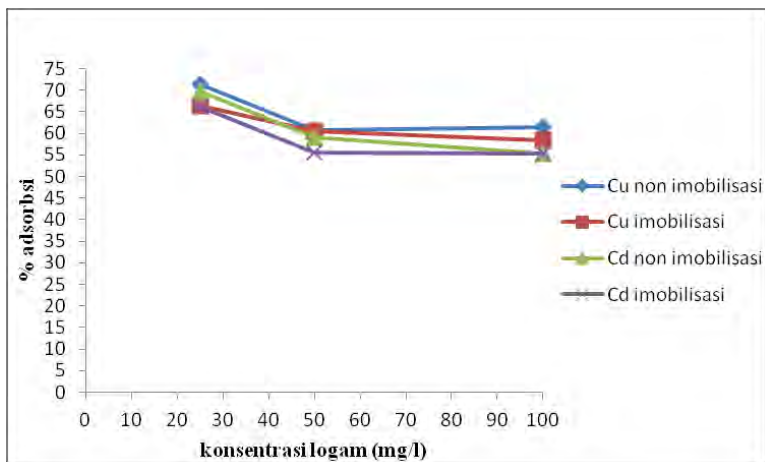
Waktu (menit)	pH	Konsentrasi Cd awal (mg/l)	Biomassa (mg)	Konsentrasi Cd sisa (mg/l)	% adsorpsi	Adsorp Cd/bio (mg/g)
15	6	25	100	10.22	59.12	7.39
	6	50	150	23.12	53.76	13.44
	6	100	200	46.54	53.46	26.73
45	6	25	100	9.56	61.76	7.72
	6	50	150	22.68	54.64	13.66
	6	100	200	45.15	54.85	27.425
60	6	25	100	8.47	66.12	8.265
	6	50	150	22.19	55.62	13.905
	6	100	200	44.61	55.39	27.695



Gambar 4.3.4. Grafik pengaruh konsentrasi logam terhadap % adsorpsi logam Cd (II) oleh biomassa imobilisasi dalam larutan sintetis

Tabel 4.3.4. Perbandingan hasil adsorpsi logam Cu (II) dan Cd (II) dengan biomassa non imobilisasi dan biomassa terimmobilisasi dalam larutan sintesis

waktu	kons. logam (mg/L)	Non imobilisasi				Imobilisasi			
		Cu		Cd		Cu		Cd	
		%	Ads	%	Ads	%	Ads	%	Ads
		adsorbsi	Cu/bio (mg/g)	adsorbsi	Cd/bio (mg/g)	adsorbsi	Cu/bio (mg/g)	adsorbsi	Cd/bio (mg/g)
15	25	64.08	8.01	60.48	7.56	63	7.875	59.12	7.39
	50	59.76	14.94	48.64	12.16	57.56	14.39	53.76	13.44
	100	58.24	29.12	53.79	26.895	56.86	28.43	53.46	26.73
45	25	69.84	8.73	65.84	8.23	64.96	8.12	61.76	7.72
	50	60.76	15.19	58.96	14.74	59.26	14.815	54.64	13.66
	100	59.78	29.89	54.85	27.425	57.59	28.795	54.85	27.425
60	25	71.24	8.905	69.68	8.71	66.32	8.29	66.12	8.265
	50	60.82	15.205	59.04	14.76	60.46	15.115	55.62	13.905
	100	61.35	30.675	55.38	27.69	58.41	29.205	55.39	27.695

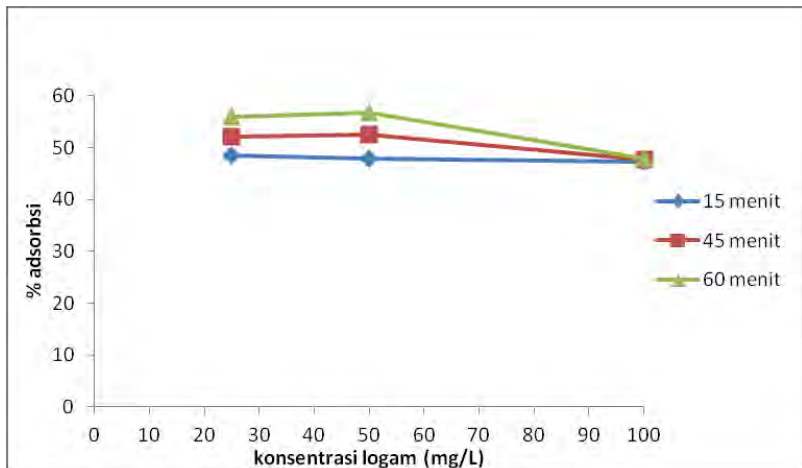


Gambar 4.3.5. Grafik Perbandingan hasil adsorpsi logam sintesis Cu (II) dan Cd (II) dengan biomassa non imobilisasi dan biomassa terimmobilisasi dalam larutan sintesis

- **Larutan limbah**

Tabel 4.3.5. Hasil adsorpsi ion logam Cu (II) oleh biomassa alga non imobilisasi dengan variasi konsentrasi logam dalam air limbah

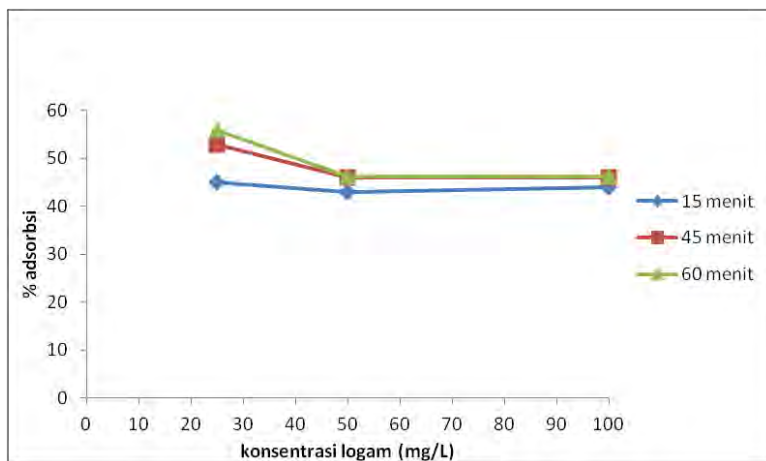
Waktu (menit)	pH	Konsentrasi Cu awal (mg/l)	Biomassa (mg)	Konsentrasi Cu sisa (mg/l)	% adsorpsi	Adsorp Cu/bio (mg/g)
15	6	25	100	12.89	48.44	6.055
	6	50	100	26.02	47.96	11.99
	6	100	100	52.74	47.26	23.63
45	6	25	100	11.98	52.08	6.51
	6	50	100	23.76	52.48	13.12
	6	100	100	52.21	47.79	23.895
60	6	25	100	11.65	55.92	6.99
	6	50	100	21.66	56.84	14.21
	6	100	100	52.04	47.96	23.98



Gambar 4.36. Grafik pengaruh konsentrasi logam terhadap % adsorpsi logam Cu (II) oleh biomassa non imobilisasi dalam air limbah

Tabel 4.3.6. Hasil adsorpsi ion logam Cd (II) oleh biomassa alga **non imobilisasi** dengan variasi konsentrasi logam dalam aire limbah

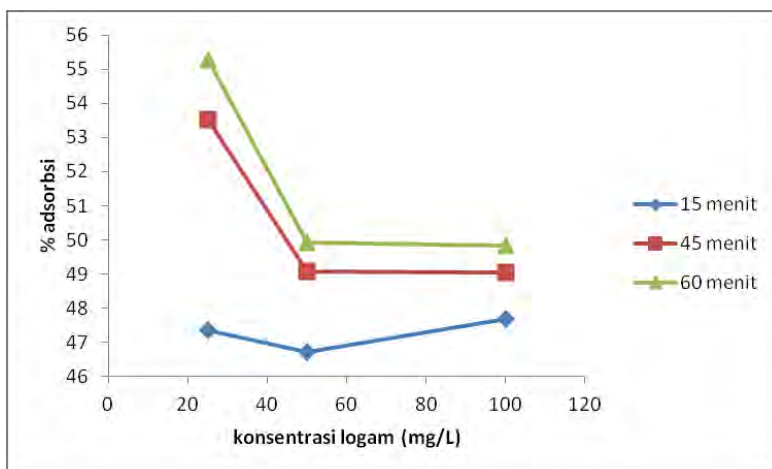
Waktu (menit)	pH	Konsentrasi Cd awal (mg/l)	Biomassa (mg)	Konsentrasi Cd sisa (mg/l)	% adsorpsi	Adsorp Cd/bio (mg/g)
15	6	25	100	13.78	44.88	5.61
	6	50	100	28.56	42.88	10.72
	6	100	100	55.99	44.01	22.005
45	6	25	100	11.81	52.76	6.595
	6	50	100	27.02	45.96	11.49
	6	100	100	54.12	45.88	22.94
60	6	25	100	11.02	55.92	6.99
	6	50	100	26.88	46.24	11.56
	6	100	100	53.85	46.15	23.075



Gambar 4.3.7. Grafik pengaruh konsentrasi logam terhadap % adsorpsi logam Cd (II) oleh biomassa non imobilisasi dalam air limbah

Tabel 4.3.7. Hasil adsorpsi ion logam Cu (II) oleh biomassa alga imobilisasi dengan variasi konsentrasi logam dalam air limbah

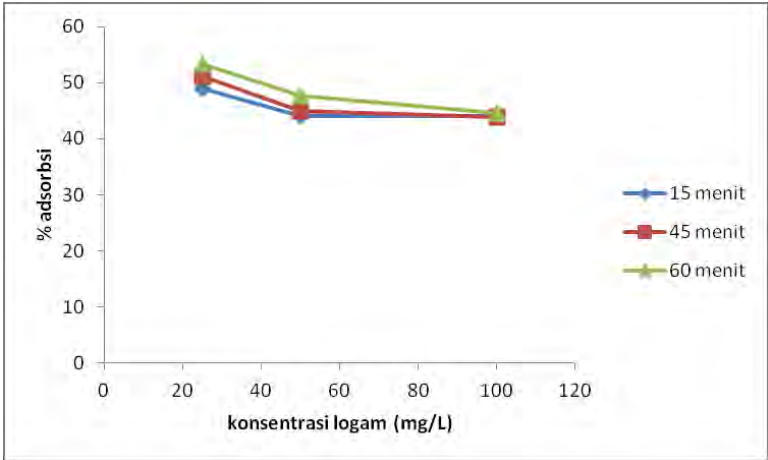
Waktu (menit)	pH	Konsentrasi Cu awal (mg/l)	Biomassa (mg)	Konsentrasi Cu sisa (mg/l)	% adsorpsi	Adsorp Cu/bio (mg/g)
15	6	25	100	13.16	47.36	5.92
	6	50	150	26.64	46.72	11.68
	6	100	200	52.32	47.68	23.84
45	6	25	100	11.62	53.52	6.69
	6	50	150	25.47	49.06	12.265
	6	100	200	50.96	49.04	24.52
60	6	25	100	11.18	55.28	6.91
	6	50	150	25.04	49.92	12.48
	6	100	200	50.18	49.82	24.91



Gambar 4.3.8. Grafik pengaruh konsentrasi logam terhadap % adsorpsi logam Cu (II) oleh biomassa imobilisasi dalam air limbah

Tabel 4.3.8. Hasil adsorpsi ion logam Cd (II) oleh biomassa alga imobilisasi dengan variasi konsentrasi logam dalam air limbah

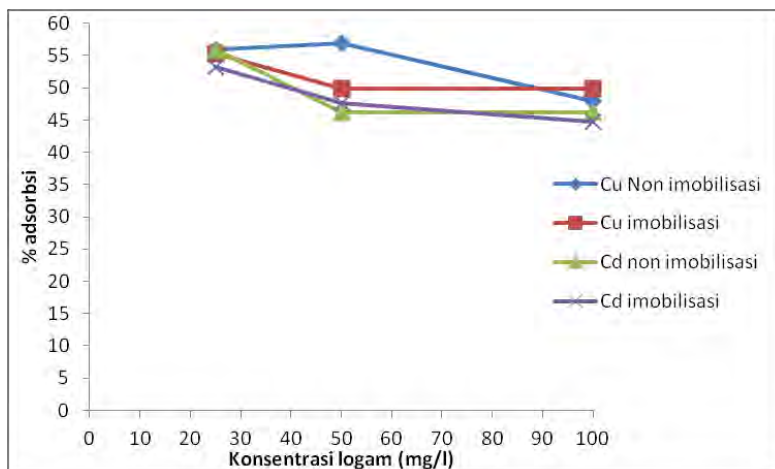
Waktu (menit)	pH	Konsentrasi Cd awal (mg/l)	Biomassa (mg)	Konsentrasi Cd sisa (mg/l)	% adsorpsi	Adsorp Cd/bio (mg/g)
15	6	25	100	12.76	48.96	6.12
	6	50	150	27.98	44.04	11.01
	6	100	200	56.01	43.99	21.995
45	6	25	100	12.21	51.16	6.395
	6	50	150	27.52	44.96	11.24
	6	100	200	56.12	43.88	21.94
60	6	25	100	11.69	53.24	6.655
	6	50	150	26.17	47.66	11.915
	6	100	200	55.32	44.68	22.34



Gambar 4.3.9. Grafik pengaruh konsentrasi logam terhadap % adsorpsi logam Cd (II) oleh biomassa imobilisasi dalam air limbah

Tabel 4.3.9. Perbandingan hasil adsorpsi larutan logam Cu (II) dan Cd (II) dengan biomassa non imobilisasi dan biomassa terimmobilisasi dalam air limbah

Waktu	kons.	Non imobilisasi				Imobilisasi			
	Logam	Cu		Cd		Cu		Cd	
	(mg/L)	%	Ads	%	Ads	%	Ads	%	Ads
		adsorbsi	Cu/bio (mg/g)	adsorbsi	Cd/bio (mg/g)	adsorbsi	Cu/bio (mg/g)	adsorbsi	Cd/bio (mg/g)
15	25	48.44	6.055	44.88	5.61	47.36	5.92	48.96	6.12
	50	47.96	11.99	42.88	10.72	46.72	11.68	44.04	11.01
	100	47.26	23.63	44.01	22.005	47.68	23.84	43.99	21.995
45	25	52.08	6.51	52.76	6.595	53.52	6.69	51.16	6.395
	50	52.48	13.12	45.96	11.49	49.06	12.265	44.96	11.24
	100	47.79	23.895	45.88	22.94	49.04	24.52	43.88	21.94
60	25	55.92	6.99	55.92	6.99	55.28	6.91	53.24	6.655
	50	56.84	14.21	46.24	11.56	49.92	12.48	47.66	11.915
	100	47.96	23.98	46.15	23.075	49.82	24.91	44.68	22.34



Gambar 4.3.10. Grafik Perbandingan hasil adsorpsi larutan logam Cu (II) dan Cd (II) dengan biomassa non imobilisasi dan biomassa terimmobilisasi dalam air limbah

Dari tabel 4.3.1 – 4.3.8 dan gambar 4.3.1 – 4.3.9 yang telah dicantumkan sebelumnya terlihat bahwa jumlah kadmium dan tembaga yang terserap oleh biomassa alga hijau dipengaruhi oleh variasi konsentrasi larutan yang digunakan. Semakin besar konsentrasi larutan yang diinteraksikan dengan jumlah biomassa yang tetap (100 mg) maka semakin besar pula jumlah kadmium yang terserap oleh biomassa alga hijau. Sesuai dengan teori Langmuir yang mengatakan bahwa pada permukaan penyerap dalam hal ini biomassa alga hijau terdapat sejumlah tertentu situs aktif yang sebanding dengan luas permukaan penyerap. Sehingga selama situs aktif belum jenuh atau berada pada keadaan seimbang, maka dengan bertambahnya konsentrasi ion logam yang dikontakkan akan bertambah pula jumlah ion logam yang terserap per gram biomassa nya.

Untuk alga hijau non imobilisasi dengan larutan logam sintesis, pada konsentrasi awal larutan kadmium 25 mg/l hingga 100 mg/l jumlah tembaga maupun kadmium yang terserap pada kondisi terbaik meningkat dari 8,905 mg sampai 30,675 mg tembaga per gram biomassa. Sedangkan untuk kadmium meningkat dari 8,71 mg sampai 27,69 mg kadmium per gram biomassa. Kemudian untuk limbah logam pada kondisi terbaik didapatkan peningkatan dari 6,99 mg sampai 23,98 mg tembaga per gram biomassa, dan dari 6,99 mg sampai 23,075 mg kadmium per gram biomassa.

Hal yang sama terjadi pada biomassa alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel. Pada konsentrasi awal larutan sintesis kadmium 25 mg/l hingga 100 mg/l jumlah tembaga yang terserap pada kondisi terbaik meningkat dari 8,29 mg sampai 29,025 mg tembaga per gram biomassa. Sedangkan untuk kadmium meningkat dari 8,265 mg sampai 27,695 mg kadmium per gram biomassa. Kemudian untuk limbah logam pada kondisi terbaik didapatkan peningkatan dari 6,91 mg sampai 24,91 mg tembaga per gram biomassa. Dan dari 6,65 mg sampai 22,34 mg kadmium per gram biomassa.

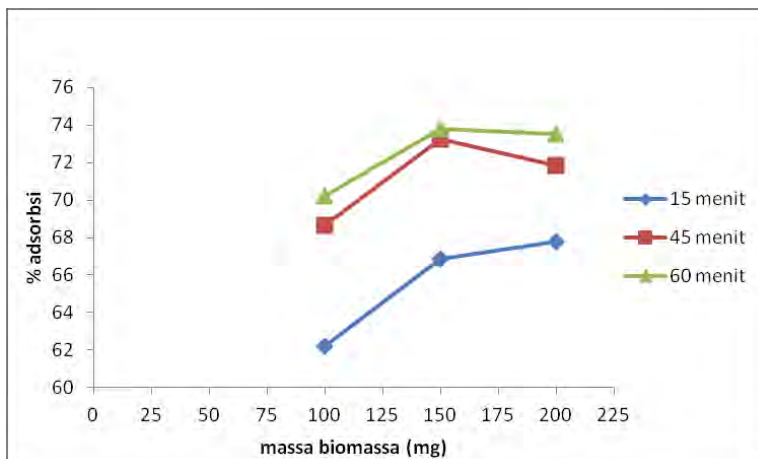
4.4. Pengaruh variasi massa biomassa terhadap adsorpsi ion logam Cu (II) dan Cd (II) oleh biomassa alga *chlorella vulgaris*.

Dengan adanya variasi massa biomassa alga kering dalam proses adsorpsi ion logam menggunakan alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel akan didapatkan informasi tentang pengaruh berat adsorben terhadap adsorpsi dari alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel. Berat/massa biomassa divariasikan yaitu 100 mg, 150 mg, dan 200 mg pada konsentrasi dan pH terbaik yaitu 25 mg/l dan pH 6. Selanjutnya, kadar ion logam setelah dilakukan proses adsorpsi diukur konsentrasinya dengan menggunakan analisa AAS. Kadar ion logam yang terukur merupakan kadar ion logam yang tidak teradsorpsi oleh adsorben. Hasil serapan ion logam Cd (II) dan Cu (II) dengan variasi berat biomassa alga tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.4.1 – 4.4.9 dan Gambar 4.4.1 – 4.4.9 sebagai berikut :

- **Larutan logam sintetis**

Tabel 4.4.1. Hasil adsorpsi ion logam Cu (II) oleh biomassa alga **non imobilisasi** dengan variasi massa biomassa *chlorella vulgaris* dalam larutan sintetis

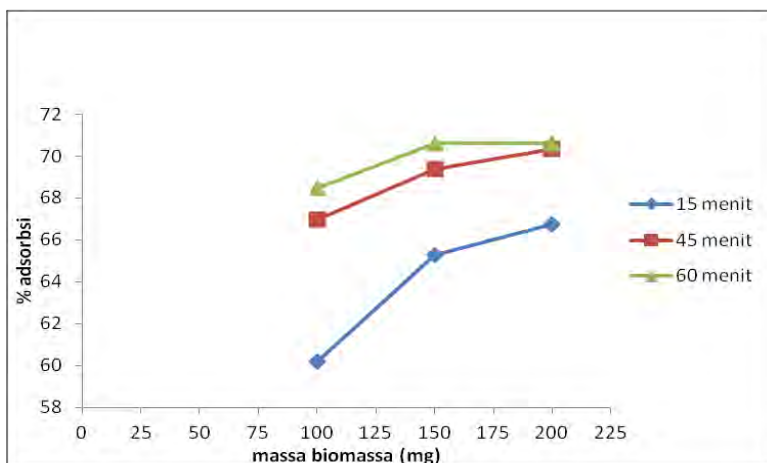
Waktu (menit)	pH	Konsentrasi Cu awal (mg/l)	Biomassa (mg)	Konsentrasi Cd sisa (mg/l)	% adsorpsi	Adsorp Cu/bio (mg/g)
15	6	25	100	9.45	62.2	7.775
	6	25	150	8.28	66.88	5.573
	6	25	200	8.06	67.76	4.235
45	6	25	100	7.84	68.64	8.58
	6	25	150	6.68	73.28	6.106
	6	25	200	7.04	71.84	4.49
60	6	25	100	7.44	70.24	8.78
	6	25	150	6.55	73.8	6.15
	6	25	200	6.62	73.52	4.595



Gambar 4.4.1. Grafik pengaruh massa biomassa terhadap % adsorpsi logam Cu(II) oleh biomassa non imobilisasi dalam larutan sintesis

Tabel 4.4.2. Hasil adsorpsi ion logam Cd (II) oleh biomassa alga non imobilisasi dengan variasi massa biomassa *chlorella vulgaris* dalam larutan sintesis

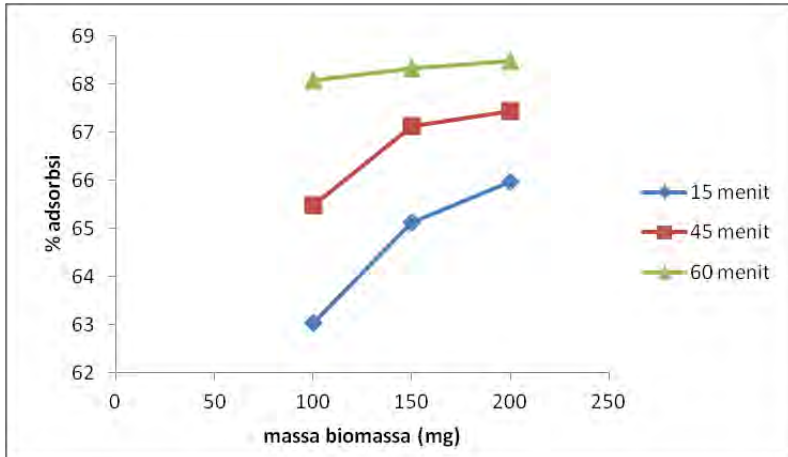
Waktu (menit)	pH	Konsentrasi Cu awal (mg/l)	Biomassa (mg)	Konsentrasi Cd sisa (mg/l)	% adsorpsi	Adsorp Cd/bio (mg/g)
15	6	25	100	9.95	60.2	7.525
	6	25	150	8.68	65.28	5.44
	6	25	200	8.31	66.76	4.1725
45	6	25	100	8.26	66.96	8.37
	6	25	150	7.65	69.4	5.783
	6	25	200	7.42	70.32	4.395
60	6	25	100	7.88	68.48	8.56
	6	25	150	7.35	70.6	5.883
	6	25	200	7.35	70.6	4.4125



Gambar 4.4.2. Grafik pengaruh massa biomassa terhadap % adsorpsi logam Cd(II) oleh biomassa non imobilisasi dalam larutan sintesis

Tabel 4.4.3. Hasil adsorpsi ion logam Cu (II) oleh biomassa alga imobilisasi dengan variasi massa biomassa *chlorella vulgaris* dalam larutan sintesis

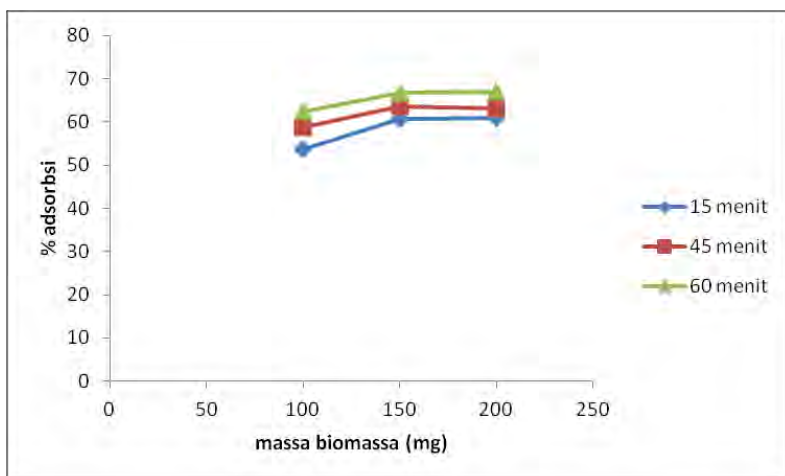
Waktu (menit)	pH	Konsentrasi Cu awal (mg/l)	Biomassa (mg)	Konsentrasi Cu sisa(mg/l)	% adsorpsi	Adsorp Cu/bio (mg/g)
15	6	25	100	9.24	63.04	7.88
	6	25	150	8.72	65.12	5.426
	6	25	200	8.51	65.96	4.1225
45	6	25	100	8.63	65.48	8.185
	6	25	150	8.22	67.12	5.593
	6	25	200	8.14	67.44	4.215
60	6	25	100	7.98	68.08	8.51
	6	25	150	7.92	68.32	5.693
	6	25	200	7.88	68.48	4.28



Gambar 4.4.3. Grafik pengaruh massa biomassa terhadap % adsorpsi logam Cu (II) oleh biomassa imobilisasi dalam larutan sintesis

Tabel 4.4.4. Hasil adsorpsi ion logam Cd (II) oleh biomassa alga imobilisasi dengan variasi massa biomassa *chlorella vulgaris* dalam larutan sintesis

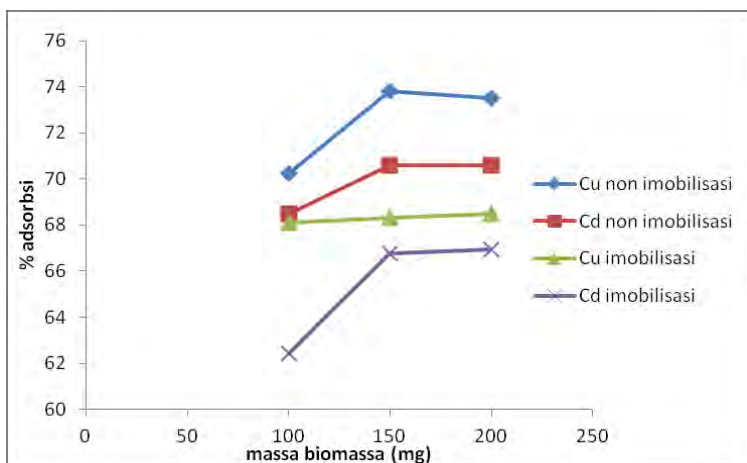
Waktu (menit)	pH	Konsentrasi Cd awal (mg/l)	Biomassa (mg)	Konsentrasi Cd sisa (mg/l)	% adsorpsi	Adsorp Cd/bio (mg/g)
15	6	25	100	11.61	53.56	6.695
	6	25	150	9.86	60.56	5.0466667
	6	25	200	9.75	61	3.8125
45	6	25	100	10.32	58.72	7.34
	6	25	150	9.11	63.56	5.2966667
	6	25	200	9.23	63.08	3.9425
60	6	25	100	9.39	62.44	7.805
	6	25	150	8.31	66.76	5.5633333
	6	25	200	8.26	66.96	4.185



Gambar 4.4.4. Grafik pengaruh massa biomassa terhadap % adsorpsi logam Cd (II) oleh biomassa imobilisasi dalam larutan sintesis

Tabel 4.4.5. Perbandingan hasil adsorpsi larutan logam sintesis Cu (II) dan Cd (II) oleh biomassa non imobilisasi dan biomassa terimmobilisasi dengan variasi massa biomassa

Waktu	Jumlah biomassa (mg)	Non imobilisasi				imobilisasi			
		Cu		Cd		Cu		Cd	
		% adsorpsi	Ads Cu/bio (mg/g)	% adsorpsi	Ads Cd/bio (mg/g)	% adsorpsi	Ads Cu/bio (mg/g)	% adsorpsi	Ads Cd/bio (mg/g)
15	100	62.2	7.775	60.2	7.525	63.04	7.88	53.56	6.695
	150	66.88	5.57333	65.28	5.44	65.12	5.427	60.56	5.047
	200	67.76	4.235	66.76	4.1725	65.96	4.1225	61	3.8125
45	100	68.64	8.58	66.96	8.37	65.48	8.185	58.72	7.34
	150	73.28	6.107	69.4	5.783	67.12	5.593	63.56	5.297
	200	71.84	4.49	70.32	4.395	67.44	4.215	63.08	3.9425
60	100	70.24	8.78	68.48	8.56	68.08	8.51	62.44	7.805
	150	73.8	6.15	70.6	5.883	68.32	5.693	66.76	5.563
	200	73.52	4.595	70.6	4.4125	68.48	4.28	66.96	4.185

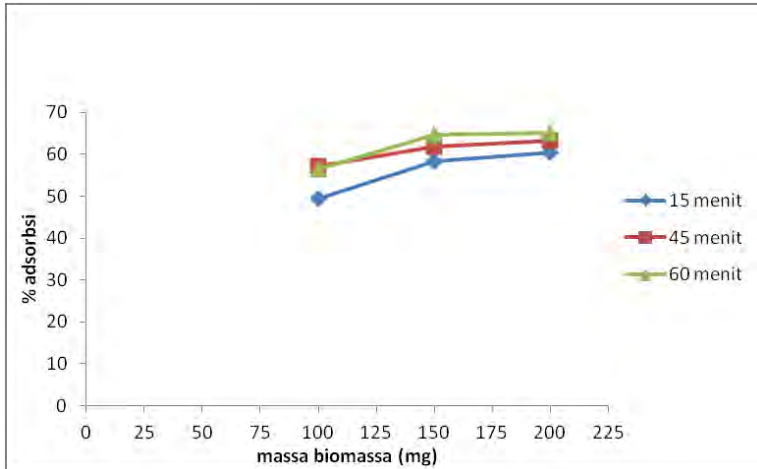


Gambar 4.4.5. Grafik Perbandingan hasil adsorpsi larutan logam sintesis Cu (II) dan Cd (II) oleh biomassa non imobilisasi dan biomassa terimmobilisasi

- Larutan limbah**

Tabel 4.4.6. Hasil adsorpsi ion logam Cu (II) oleh biomassa alga **non imobilisasi** dengan variasi massa biomassa *chlorella vulgaris* dalam air limbah

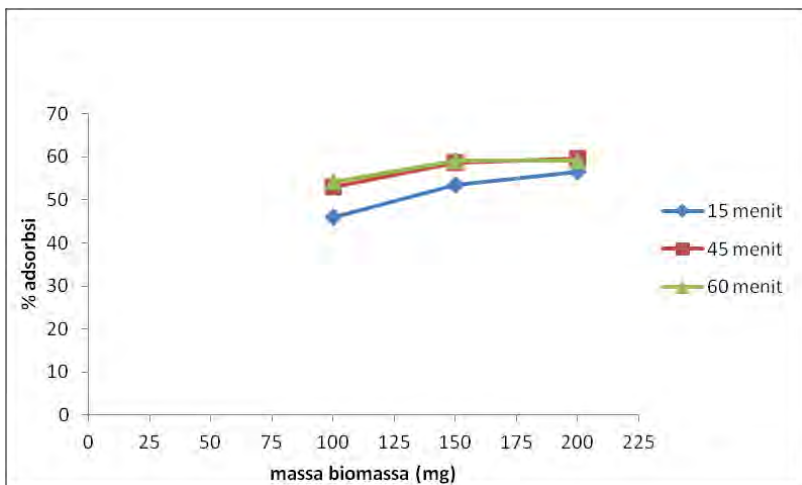
Waktu (menit)	pH	Konsentrasi Cu awal (mg/l)	Biomassa (mg)	Konsentrasi Cu sisa (mg/l)	% adsorpsi	Adsorp Cu/bio (mg/g)
15	6	25	100	12.65	49.4	6.175
	6	25	150	10.42	58.32	4.86
	6	25	200	9.88	60.48	3.78
45	6	25	100	10.73	57.08	7.135
	6	25	150	9.54	61.84	5.153
	6	25	200	9.21	63.16	3.9475
60	6	25	100	10.92	56.32	7.04
	6	25	150	8.82	64.72	5.393
	6	25	200	8.75	65	4.0625



Gambar 4.4.6. Grafik pengaruh massa biomassa terhadap % adsorpsi logam Cu (II) oleh biomassa non imobilisasi dalam air limbah

Tabel 4.4.7. Hasil adsorpsi ion logam Cd (II) oleh biomassa alga non imobilisasi dengan variasi massa biomassa *chlorella vulgaris* dalam air limbah

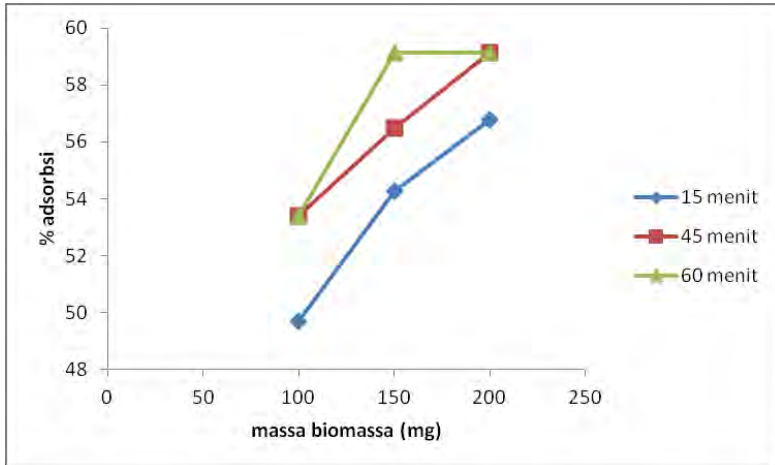
Waktu (menit)	pH	Konsentrasi Cd awal (mg/l)	Biomassa (mg)	Konsentrasi Cd sisa (mg/l)	% adsorpsi	Adsorp Cd/bio (mg/g)
15	6	25	100	13.52	45.92	5.74
	6	25	150	11.65	53.4	4.45
	6	25	200	10.88	56.48	3.53
45	6	25	100	11.76	52.96	6.62
	6	25	150	10.36	58.56	4.88
	6	25	200	10.12	59.52	3.72
60	6	25	100	11.45	54.2	6.775
	6	25	150	10.21	59.16	4.93
	6	25	200	10.21	59.16	3.697



Gambar 4.4.7. Grafik pengaruh massa biomassa terhadap %adsorpsi logam Cd (II) oleh biomassa non imobilisasi dalam air limbah

Tabel 4.4.8. Hasil adsorpsi ion logam Cu (II) oleh biomassa alga imobilisasi dengan variasi massa biomassa *chlorella vulgaris* dalam air limbah

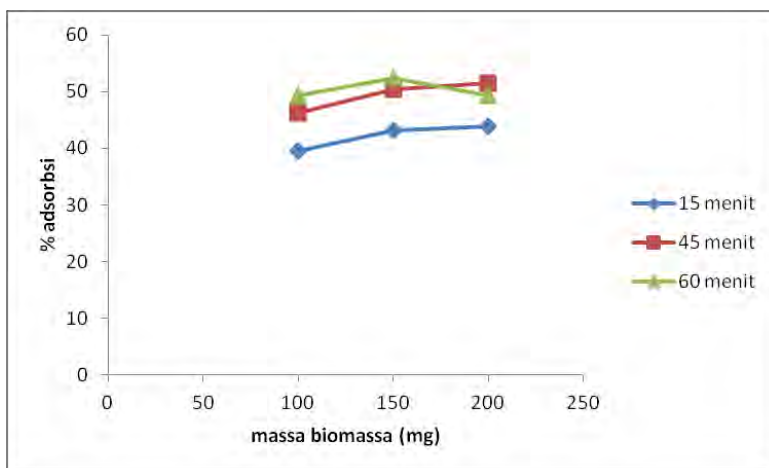
Waktu (menit)	pH	Konsentrasi Cu awal (mg/l)	Biomassa (mg)	Konsentrasi Cu sisa (mg/l)	% adsorpsi	Adsorp Cu/bio (mg/g)
15	6	25	100	12.58	49.68	6.21
	6	25	150	11.43	54.28	4.523
	6	25	200	10.81	56.76	3.5475
45	6	25	100	11.65	53.4	6.675
	6	25	150	10.88	56.48	4.706
	6	25	200	10.22	59.12	3.695
60	6	25	100	11.65	53.4	6.675
	6	25	150	10.22	59.12	4.92
	6	25	200	10.22	59.12	3.695



Gambar 4.4.8. Grafik pengaruh massa biomassa terhadap % adsorpsi logam Cu (II) oleh biomassa imobilisasi dalam air limbah

Tabel 4.4.9. Hasil adsorpsi ion logam Cd (II) oleh biomassa alga imobilisasi dengan variasi massa biomassa *chlorella vulgaris* dalam air limbah

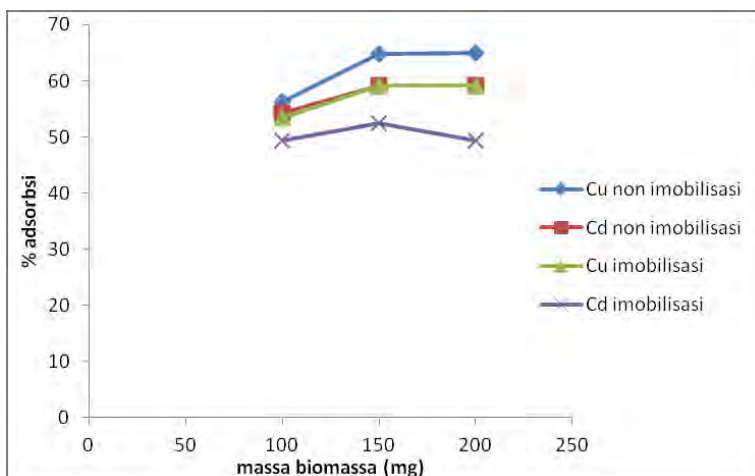
Waktu (menit)	pH	Konsentrasi Cd awal (mg/l)	Biomassa (mg)	Konsentrasi Cd sisa (mg/l)	% adsorpsi	Adsorp Cd/bio (mg/g)
15	6	25	100	15.12	39.52	4.94
	6	25	150	14.22	43.12	3.5933
	6	25	200	14.04	43.84	4.566
45	6	25	100	13.46	46.16	5.77
	6	25	150	12.39	50.44	4.203
	6	25	200	12.11	51.56	3.22
60	6	25	100	12.65	49.4	6.175
	6	25	150	11.88	52.48	4.373
	6	25	200	12.65	49.4	3.087



Gambar 4.4.9. Grafik pengaruh massa biomassa terhadap % adsorpsi logam Cd (II) oleh biomassa imobilisasi dalam air limbah

Tabel 4.4.10. Perbandingan hasil adsorpsi larutan logam limbah Cu (II) dan Cd (II) oleh biomassa non imobilisasi dan biomassa terimmobilisasi dengan variasi massa biomassa

Waktu	jumlah biomassa (mg)	Non imobilisasi				imobilisasi			
		Cu		Cd		Cu		Cd	
		% adsorpsi	Ads Cu/bio (mg/g)	% adsorpsi	Ads Cd/bio (mg/g)	% adsorpsi	Ads Cu/bio (mg/g)	% adsorpsi	Ads Cd/bio (mg/g)
15	100	49.4	6.175	45.92	5.74	49.68	6.21	39.52	4.94
	150	58.32	4.86	53.4	4.45	54.28	4.523	43.12	3.593
	200	60.48	3.78	56.48	3.53	56.76	3.5475	43.84	4.567
45	100	57.08	7.135	52.96	6.62	53.4	6.675	46.16	5.77
	150	61.84	5.153	58.56	4.88	56.48	4.7067	50.44	4.203
	200	63.16	3.9475	59.52	3.72	59.12	3.695	51.56	3.2225
60	100	56.32	7.04	54.2	6.775	53.4	6.675	49.4	6.175
	150	64.72	5.393	59.16	4.93	59.12	4.926	52.48	4.373
	200	65	4.062	59.16	3.697	59.12	3.695	49.4	3.0875



Gambar 4.4.10. Perbandingan hasil adsorpsi larutan logam limbah Cu (II) dan Cd (II) oleh biomassa non immobilisasi dan biomassa terimmobilisasi

Pengaruh jumlah biomassa alga hijau terhadap logam Cu (II) dan Cd(II) yang telah disajikan pada Tabel 4.4.1 – 4.4.9 dan Gambar 4.4.1 – 4.4.9. Tampak bahwa peningkatan massa biomassa akan menaikkan presentase jumlah logam yang terserap. Hal ini terjadi karena dengan bertambahnya jumlah biomassa, maka akan semakin banyak situs (pusat) aktif pada dinding sel biomassa yang berinteraksi dengan ion Cu (II) maupun Cd (II) di dalam larutan pada volume yang sama. Dengan demikian semakin banyak gugus aktif yang mampu mengikat ion logam baik Cu (II) maupun Cd (II) yang berada pada permukaan biomassa *chlorella vulgaris*. Tetapi dengan peningkatan jumlah biomassa sebanyak 200 mg tidak terjadi peningkatan yang besar atau signifikan, hal ini dikarenakan ion tembaga dan kadmium yang diadsorpsi telah mencapai keseimbangan. Dengan peningkatan berat biomassa dari 150 mg hingga 200 mg dengan konsentrasi logam awal yang sama (25 mg/l) didapatkan peningkatan yang tidak terlalu besar. Hal ini berarti dengan konsentrasi logam 25 mg/l tersebut cukup

digunakan biomassa sebanyak 150 mg, dengan mempertimbangkan segi efektifitas dan efisiensi adsorben. Namun kondisi adsorpsi paling maksimal adalah menggunakan adsorben biomassa sebesar 200 mg. Sehingga jumlah biomassa yang terbaik adalah sebanyak 200 mg jika mengesampingkan segi efisiensi dan ekonomi.

Biomassa alga hijau yang di imobilisasi pada silika gel memiliki persen serapan yang lebih rendah daripada biomassa non imobilisasi, hal ini disebabkan oleh adanya silika yang berikatan dengan gugus fungsional yang terdapat pada biomassa sehingga menyebabkan berkurangnya situs aktif pada biomassa hijau. Namun upaya imobilisasi tetap disarankan karena dapat memiliki kekuatan fisik yang lebih bagus dan biomassa terimobilisasi dapat di *recovery* untuk digunakan kembali sebagai adsorben.

Hasil terbaik untuk Cu (II) dan Cd (II) teradsorpsi pada larutan logam sintetis untuk biomassa non imobilisasi sebesar 73,52% dan 70,6%. Dengan jumlah Cu dan Cd terserap per gram biomassa sebesar 5,44 mg/g dan 5,5883 mg/g pada pH penyerapan maksimumnya yaitu pH 6 dan pada waktu penyerapan 60 menit. Kemudian untuk larutan limbah industri hasil adsorpsi terbaik untuk Cu dan Cd yaitu sebesar 65% dan 59,52% pada saat 60 menit untuk Cu dan 45 menit untuk Cd. Dengan jumlah Cu dan Cd terserap pergram biomassa sebesar 4,0625 mg/g dan 3,72 mg/g pada waktu 60 menit untuk Cu dan 45 menit untuk Cd. Hal ini dapat diartikan bahwa pada saat mencapai waktu 45 menit, proses adsorpsi dalam larutan limbah sudah mencapai kesetimbangan dan adsorben mulai jenuh.

Sedangkan untuk biomassa terimobilisasi didapatkan penyerapan terbaik Cu dan Cd pada larutan logam sintetis sebesar 68,48% dan 66,96%. Dengan jumlah Cu dan Cd terserap per gram biomassa sebesar 4,28 mg/g dan 4,185 mg/g. Kemudian untuk larutan limbah industri hasil adsorpsi terbaik untuk Cu dan Cd yaitu sebesar 59,12% dan 52,48% pada saat 60 menit. Dengan jumlah Cu dan Cd terserap pergram biomassa sebesar 4,92 mg/g dan 4,373 mg/g pada waktu 60 menit.

4.5. Kurva adsorpsi Isoterm Langmuir adsorpsi Cu (II) dan Cd (II) oleh biomassa alga hijau

Isoterm adsorpsi digunakan untuk mengetahui hubungan antara jumlah zat yang terserap (adsorbat) dengan jumlah zat penyerap (adsorben), serta kemungkinan sifat dari permukaan adsorben. Pada penelitian ini digunakan dua bentuk persamaan isoterm adsorpsi, yaitu isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich. Data yang digunakan untuk mencari isoterm adsorpsi adalah data penyerapan pada variasi konsentrasi ion logam Cd (II) yang digunakan, oleh biomassa alga hijau non imobilisasi dan biomassa alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel.

Pada isoterm adsorpsi Langmuir, teori Langmuir menjelaskan bahwa permukaan penyerap dalam hal ini biomassa alga hijau terdapat sejumlah tertentu situs aktif yang sebanding dengan luas permukaan penyerap. Pada setiap situs aktif memiliki energi yang sama sehingga dapat dikatakan bahwa permukaan adsorben bersifat homogen. Hasil pengolahan data variasi konsentrasi ion logam Cu (II) dan Cd (II) yang digunakan untuk mencari isoterm adsorpsi Langmuir disajikan pada Gambar 4.5.1 – 4.5.4 berikut :

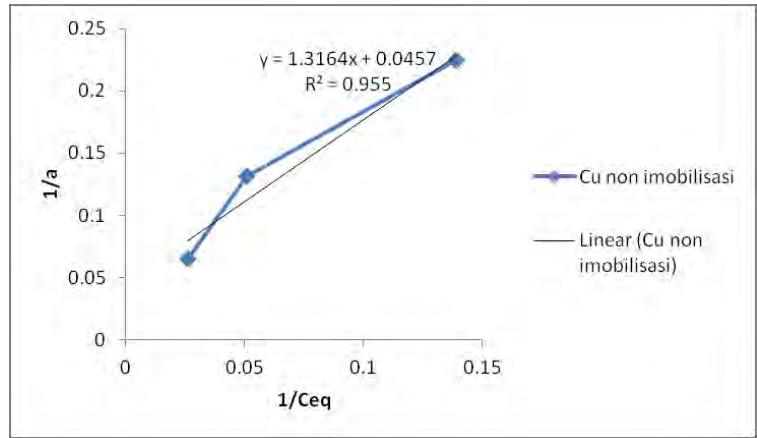
- **Logam sintetis**

Keterangan :

- Ci : Konsentrasi logam Cu awal sebelum adsorpsi (mg/l)
- Ceq : Konsentrasi logam Cu yang tidak teradsorpsi dalam larutan logam (mg/l)
- Cb : Konsentrasi logam yang teradsorpsi dalam biomassa (mg/l)
- a : Cb/biomassa, jumlah logam yang dapat teradsorpsi dalam 1 gram biomassa (mg/g)

Tabel 4.5.1. Hasil perhitungan isotherm Langmuir logam Cu (II) non imobilisasi

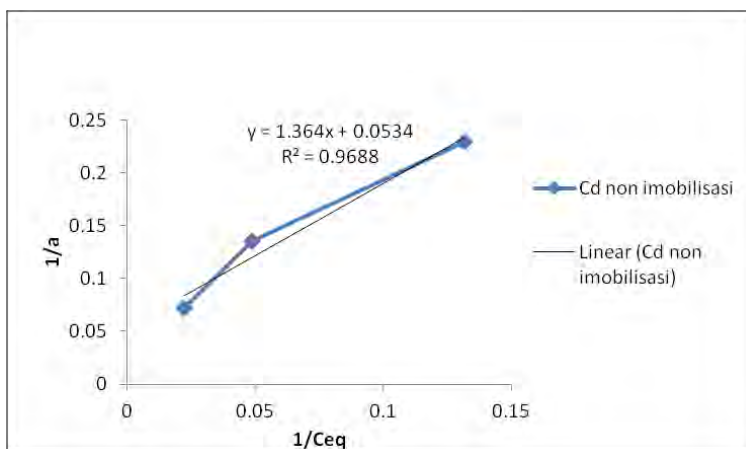
[Cu] awal	[Cu] sisa	[Cu] teradsopsi (Cb)			a	
Ci	Ceq			1/Ceq	(cb/0.1 g)	1/a
(mg/L)	(mg/L)	mg/L	mg	(1/mg/L)	(mg/g)	(g/mg)
25	7.19	17.81	0.44525	0.139082	4.4525	0.224593
50	19.59	30.41	0.76025	0.051046	7.6025	0.131536
100	38.65	61.35	1.53375	0.025873	15.3375	0.0652



Gambar 4.5.1 Grafik isotherm Langmuir untuk logam Cu (II) dengan biomassa alga non imobilisasi

Tabel 4.5.2. Hasil perhitungan isotherm Langmuir logam Cd (II) non imobilisasi

[Cd] awal	[Cd] sisa	[Cd] teradsopsi (Cb)			a	
Ci	Ceq			1/Ceq	(cb/0.1 g)	1/a
(mg/L)	(mg/L)	mg/L	mg	(1/mg/L)	(mg/g)	(g/mg)
25	7.58	17.42	0.4355	0.1319	4.355	0.2296
50	20.48	29.52	0.738	0.0488	7.38	0.1355
100	44.62	55.38	1.3845	0.0224	13.845	0.0723



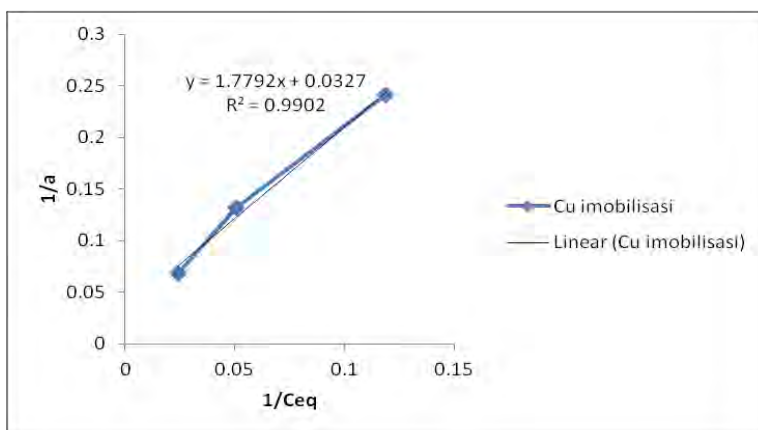
Gambar 4.5.2. Grafik isotherm Langmuir untuk logam Cd (II) dengan biomassa alga non imobilisasi

Dari data penyerapan pada variasi konsentrasi ion logam Cu (II) dan Cd (II) oleh alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel, dan dengan menggunakan persamaan isotherm Langmuir (persamaan 2), maka didapat persamaan linier untuk Cu non imobilisasi yaitu $y = 1,364 x + 0,0534$ dengan nilai R^2 sebesar 0,955. Untuk Cd (II) didapatkan persamaan $y = 0,647 x + 0,054$ dengan nilai R^2 sebesar 0,9688. Sedangkan untuk biomassa alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel diperoleh persamaan linier untuk Cu (II), $y = 1,7792 x + 0,0327$ dengan nilai R^2 sebesar 0,9902. untuk Cd (II), $y = 1,6694 x + 0,0494$ dengan nilai R^2 sebesar 0,9585.

Berdasarkan persamaan isotherm Langmuir (persamaan 2) diperoleh nilai $(am)_{max}$ untuk adsorpsi ion logam Cu (II) dan Cd (II) sebesar 0,7596 dan 0,73318 untuk biomassa non imobilisasi. Sedangkan konstanta k dari adsorpsi dengan alga hijau non imobilisasi pada silika gel untuk Cu (II) dan Cd (II) sebesar 28,805 dan 25,543. Data selengkapnya disajikan pada lampiran B.

Tabel 4.5.3. Hasil perhitungan isotherm Langmuir Cu (II) imobilisasi

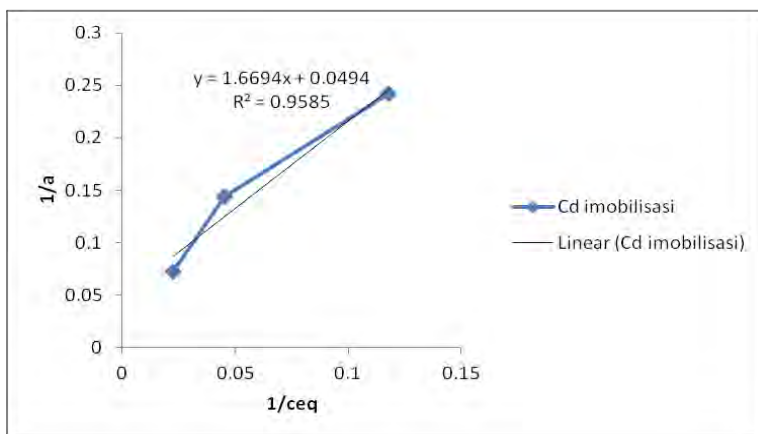
[Cu] awal	[Cu] sisas	[Cu] teradsorpsi (Cb)			a	
Ci	Ceq			1/Ceq	(cb/0.1 g)	1/a
(mg/L)	(mg/L)	mg/L	mg	(1/mg/L)	(mg/g)	(g/mg)
25	8.42	16.58	0.4145	0.118765	4.145	0.241255
50	19.77	30.23	0.75575	0.050582	7.5575	0.132319
100	41.59	58.41	1.46025	0.024044	14.6025	0.068481



Gambar 4.5.3. Grafik isotherm Langmuir untuk logam Cu (II) dengan biomassa alga imobilisasi

Tabel 4.5.4. Hasil perhitungan isotherm Langmuir Cd (II) imobilisasi

[Cd] awal	[Cd] sisas	[Cd] teradsorpsi (Cb)			a	
Ci	Ceq			1/Ceq	(cb/0.1 g)	1/a
(mg/L)	(mg/L)	mg/L	mg	(1/mg/L)	(mg/g)	(g/mg)
25	8.47	16.53	0.41325	0.118064	4.1325	0.241984
50	22.19	27.81	0.69525	0.045065	6.9525	0.143833
100	44.61	55.39	1.38475	0.022416	13.8475	0.072215



Gambar 4.5.4. Grafik isotherm Langmuir untuk logam Cd (II) dengan biomassa alga imobilisasi

Berdasarkan persamaan isotherm Langmuir (persamaan 2) diperoleh nilai $(am)_{max}$ untuk adsorpsi ion logam Cu (II) dan Cd (II) sebesar 0,56205 dan 0,5990 untuk biomassa imobilisasi. Sedangkan konstanta k dari adsorpsi dengan alga hijau non imobilisasi pada silika gel untuk Cu (II) dan Cd (II) sebesar 54,409 dan 33,793. Data selengkapnya disajikan pada Appendix B.

4.6. Kurva adsorpsi Isotherm Freundlich adsorpsi Cd (II) oleh biomassa alga hijau

Isotherm adsorpsi Freundlich menyatakan bahwa permukaan adsorben bersifat heterogen, hal tersebut berarti afinitas dari masing-masing pusat aktif tidak sama, sehingga adsorpsi pada situs yang paling aktif lebih disukai.

Dari data penyerapan pada variasi konsentrasi ion logam Cu (II) dan Cd (II) oleh alga hijau non imobilisasi dan alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel, dan dengan menggunakan persamaan isotherm Freundlich (persamaan 4), maka didapat persamaan linier untuk Cu non imobilisasi yaitu $y = 0,7202 x +$

0,082 dengan nilai R^2 sebesar 0,965. Untuk Cd(II) didapatkan $y = 0,647x + 0,054$ dengan nilai R^2 sebesar 0,9855. Sedangkan untuk biomassa alga hijau yang diimobilisasi pada silika gel diperoleh persamaan linier untuk Cu(II), $y = 0,7863x - 0,1198$ dengan nilai R^2 sebesar 0,9956. Hasil pengolahan data variasi konsentrasi ion logam Cd (II) yang digunakan untuk mencari isotherm adsorpsi Freundlich disajikan pada Tabel 4.6.1 – 4.6.4 dan Gambar 4.6.1 – 4.6.4 berikut :

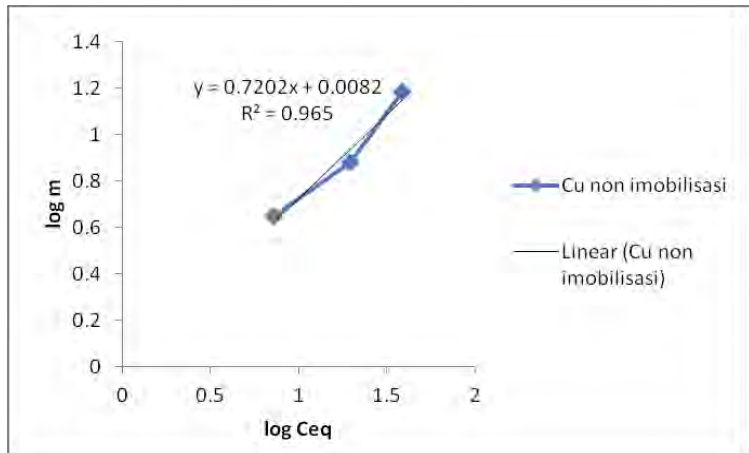
• **Laruan sintetis**

Keterangan :

- C_i : konsentrasi logam Cu awal sebelum adsorpsi
(mg/l)
- C_{eq} : konsentrasi logam Cu yang tidak teradsorpsi
dalam larutan logam (mg/l)
- C_b : konsentrasi logam yang teradsorpsi dalam
biomassa (mg/l)
- m : C_b /biomassa, jumlah logam yang dapat
teradsorpsi dalam 1 gram biomassa (mg/g)

Tabel 4.6.1. Hasil perhitungan isotherm Freundlich Cu (II) non imobilisasi

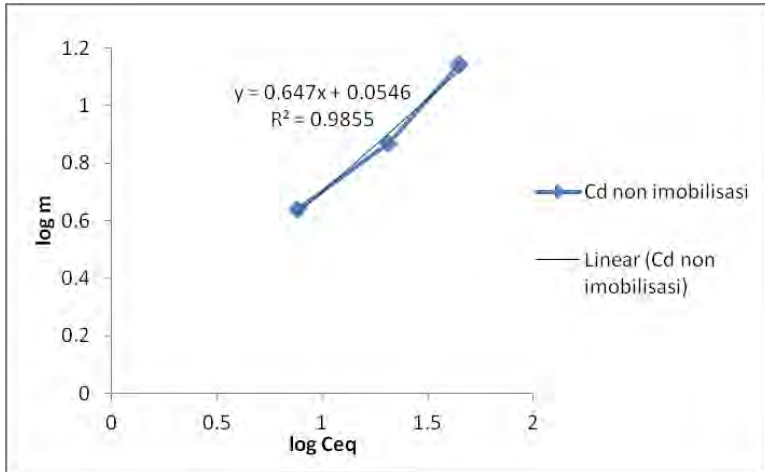
[Cu] awal	[Cu] sisa	[Cu] teradsorpsi			m	
Ci	Ceq	(Cb)		log Ceq	(cb/0.1 g)	log m
(mg/L)	(mg/L)	mg/L	mg	log mg/l	(mg/g)	log mg/g
25	7.19	17.81	0.44525	0.85672889	4.4525	0.64860393
50	19.59	30.41	0.76025	1.29203444	7.6025	0.88095643
100	38.65	61.35	1.53375	1.5871495	15.3375	1.18575458



Gambar 4.6.1 Grafik isotherm Freundlich untuk logam Cu (II) dengan biomassa alga non imobilisasi

Tabel 4.6.2. Hasil perhitungan isotherm Freundlich Cd (II) non imobilisasi

[Cd] awal	[Cd] sisa	[Cd] teradsopsi			m	
Ci	Ceq	(Cb)		log Ceq	(cb/0.1 g)	log m
(mg/L)	(mg/L)	mg/L	mg	log mg/l	(mg/g)	log mg/g
25	7.58	17.42	0.4355	0.87966921	4.355	0.63898816
50	20.48	29.52	0.738	1.31132995	7.38	0.86805636
100	44.62	55.38	1.3845	1.64952957	13.845	1.14129296

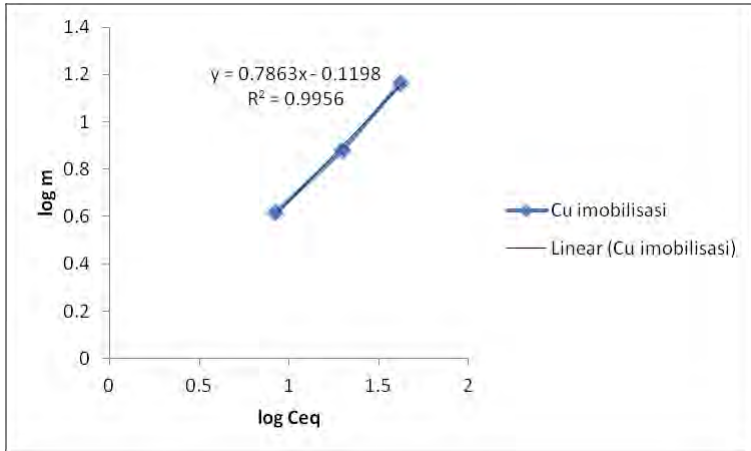


Gambar 4.6.2. Grafik isotherm Freundlich untuk logam Cd (II) dengan biomassa alga non imobilisasi

Berdasarkan persamaan isotherm Freundlich (persamaan 4) diperoleh nilai konstanta adsorpsi (k) untuk adsorpsi ion logam Cu (II) dan Cd (II) sebesar 1,01906 dan 1,13386 untuk biomassa yang terimmobilisasi. Sedangkan konstanta n dari adsorpsi dengan alga hijau terimmobilisasi pada silika gel untuk Cu (II) dan Cd (II) sebesar 1,3885 dan 1,5455. Data selengkapnya disajikan pada Appendix B.

Tabel 4.6.3. Hasil perhitungan isotherm Freundlich larutan Cu (II) imobilisasi

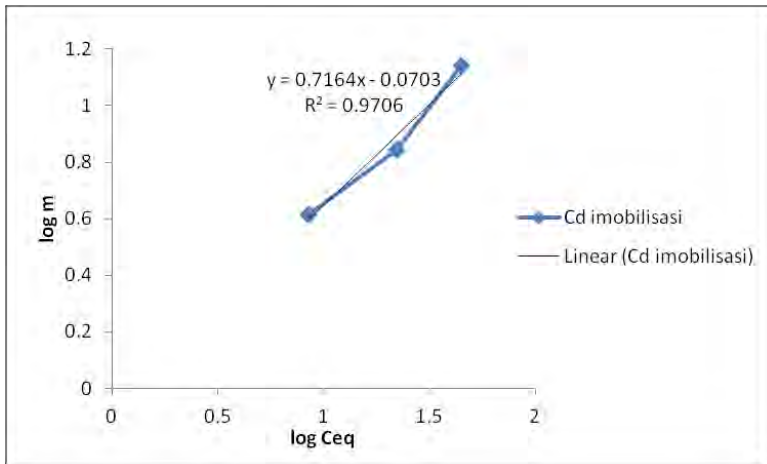
[Cu] awal	[Cu] sisa	[Cu] teradsorpsi		log Ceq	m	log m
Ci	Ceq	(Cb)			(cb/0.1 g)	
(mg/L)	(mg/L)	mg/L	mg	log mg/l	(mg/g)	log mg/g
25	8.42	16.58	0.4145	0.92531209	4.145	0.61752453
50	19.77	30.23	0.75575	1.29600667	7.5575	0.87837816
100	41.59	58.41	1.46025	1.61898892	14.6025	1.16442721



Gambar 4.6.3. Grafik isotherm Freundlich untuk logam Cu (II) dengan biomassa alga immobilisasi

Tabel 4.6.4. Hasil perhitungan isotherm Freundlich larutan Cd (II) immobilisasi

[Cd] awal	[Cd] sisa	[Cd] teradsorpsi		log Ceq	m	log m
Ci	Ceq	(Cb)			(cb/0.1 g)	
(mg/L)	(mg/L)	mg/L	mg	log mg/l	(mg/g)	log mg/g
25	8.47	16.53	0.41325	0.92788341	4.1325	0.61621286
50	22.19	27.81	0.69525	1.3461573	6.9525	0.842141
100	44.61	55.39	1.38475	1.64943222	13.8475	1.14137137



Gambar 4.6.4. Grafik isotherm Freundlich untuk logam Cd (II) dengan biomassa alga imobilisasi

Berdasarkan persamaan isotherm Freundlich (persamaan 4) diperoleh nilai konstanta adsorpsi (k) untuk adsorpsi ion logam Cu (II) dan Cd (II) sebesar 0,7589 dan 0,8506 untuk biomassa yang terimmobilisasi. Sedangkan konstanta n dari adsorpsi dengan alga hijau terimmobilisasi pada silika gel untuk Cu (II) dan Cd (II) sebesar 1,2717 dan 1,3958. Data selengkapnya disajikan pada lampiran B.

Dilihat berdasarkan nilai R^2 , dapat diasumsikan isotherm Freundlich mampu menginterpretasikan data adsorpsi lebih baik daripada isotherm Langmuir. Karena pada isotherm Freundlich nilai R^2 mendekati 1. Karena lebih mengarah pada isotherm Freundlich, hal tersebut menginformasikan bahwa kemungkinan permukaan dari kedua biomassa alga hijau yang digunakan bersifat heterogen, artinya setiap situs aktif pada matriks alga yang kompleks memiliki energi atau afinitas yang berbeda-beda.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Biomassa alga hijau *Chlorella Vulgaris* non imobilisasi maupun yang di imobilisasi mampu mengadsorpsi ion logam berat Cu (II) dan Cd (II) dikarenakan mempunyai gugus fungsi yang mampu mengikat ion logam.
2. pH, konsentrasi logam, dan massa biomassa serta waktu kontak merupakan parameter yang mempengaruhi proses penyerapan logam oleh biomassa alga.
 - Semakin tinggi pH pada larutan logam pada saat adsorpsi maka daya ikat logam pada biomassa alga makin besar.
 - Semakin tinggi konsentrasi logam maka semakin kecil persen adsorpsi logam, namun semakin meningkat daya adsorpsi logam per gram biomasanya.
 - -Semakin banyak massa biomassa yang digunakan untuk adsorpsi, maka semakin banyak logam yang teradsorpsi oleh biomassa alga.

Kondisi terbaik atau maksimumnya adalah :

- pH terbaik untuk proses adsorpsi adalah pH 6
 - Konsentrasi logam yang terbaik adalah 25 mg/L
 - Massa biomassa alga hijau terbaik adalah 200 mg
 - Waktu kontak terbaik adalah 60 menit
3. Proses adsorpsi ion logam tembaga dan kadmium pada larutan logam sintetis lebih efektif dibandingkan dengan adsorpsi pada larutan limbah industri PT.SIER baik pada biomassa non imobilisasi maupun biomassa non imobilisasi.

4. Biomassa alga non imobilisasi mampu menyerap logam lebih besar dibandingkan biomassa alga imobilisasi, namun biomassa imobilisasi mempunyai ketahanan yang lebih kuat dibandingkan biomassa non imobilisasi.

APPENDINKS A

CARA PERHITUNGAN

1. Pembuatan larutan sintetis dari CuSO_4 dan CdSO_4

A. Larutan sintetis Cu :

Ar Cu = 63,546 mg/mmol

BM CuSO_4 = 159,6 mg/mmol

- Larutan sintetis Cu 25 ppm sebanyak 1000 ml
25 ppm = 25 mg/L = 25 mg/1000 ml

$$\frac{\text{Ar Cu}}{\text{Mr CuSO}_4} = \frac{\text{Massa Cu}}{\text{Massa CuSO}_4}$$
$$\frac{63,546 \text{ mg/mmol}}{159,6 \text{ mg/mmol}} = \frac{25 \text{ mg/1000 ml}}{\text{Massa CuSO}_4}$$

massa CuSO_4 = 62,7 mg/1000 ml

Massa CuSO_4 yang dibutuhkan untuk membuat larutan logam Cu 25 ppm sebesar 0,0627 gram /1000 ml

- Larutan sintetis Cu 50 ppm sebanyak 1000 ml
50 ppm = 50 mg/L = 50 mg/1000 ml

$$\frac{\text{Ar Cu}}{\text{Mr CuSO}_4} = \frac{\text{Massa Cu}}{\text{Massa CuSO}_4}$$
$$\frac{63,546 \text{ mg/mmol}}{159,6 \text{ mg/mmol}} = \frac{50 \text{ mg/1000 ml}}{\text{Massa CuSO}_4}$$

massa CuSO_4 = 125,5 mg/ 1000 ml

Massa CuSO_4 yang dibutuhkan untuk membuat larutan logam Cu 50 ppm sebesar 0,1255 gram/1000 ml

- Cu 100 ppm

$$100 \text{ ppm} = 100 \text{ mg/L} = 100 \text{ mg/1000 ml}$$

$$\frac{\frac{Ar \text{ Cu}}{Mr \text{ CuSO}_4}}{\frac{63,546 \text{ mg/mmol}}{159,6 \text{ mg/mmol}}} = \frac{\frac{Massa \text{ Cu}}{Massa \text{ CuSO}_4}}{\frac{100 \text{ mg/1000 ml}}{Massa \text{ CuSO}_4}}$$

$$Massa \text{ CuSO}_4 = 251,6 \text{ mg/1000 ml}$$

Massa CuSO_4 yang dibutuhkan untuk membuat larutan logam Cu 100 ppm sebesar 0,2516 gram /1000 ml

B. Larutan Sintetis Cd

$$Ar \text{ Cd} = 112,4 \text{ mg/mmol}$$

$$BM \text{ CdSO}_4 = 208,47 \text{ mg/mmol}$$

- Larutan Sintetis Cd 25 ppm sebanyak 1000 ml

$$25 \text{ ppm} = 25 \text{ mg/L} = 25 \text{ mg/1000 ml}$$

$$\frac{\frac{Ar \text{ Cd}}{Mr \text{ CdSO}_4}}{\frac{112,4 \text{ mg/mmol}}{208,47 \text{ mg/mmol}}} = \frac{\frac{Massa \text{ Cd}}{Massa \text{ CdSO}_4}}{\frac{25 \text{ mg/1000 ml}}{Massa \text{ CdSO}_4}}$$

$$massa \text{ CdSO}_4 = 46,3 \text{ mg /1000 ml}$$

Massa CdSO_4 yang dibutuhkan untuk membuat larutan logam Cd 25 ppm sebesar 0,0463 gram /1000 ml

- Larutan Sintetis Cd 50 ppm sebanyak 1000 ml

$$50 \text{ ppm} = 50 \text{ mg/L} = 50 \text{ mg/1000 ml}$$

$$\frac{Ar\ Cd}{Mr\ CdSO_4} = \frac{Massa\ Cd}{Massa\ CdSO_4}$$

$$\frac{112,4\ mg/mmol}{208,47\ mg/mmol} = \frac{50\ mg/1000\ ml}{Massa\ CdSO_4}$$

massa $CdSO_4 = 92,7\ mg/1000\ ml$

Massa $CdSO_4$ yang dibutuhkan untuk membuat larutan logam Cd 25 ppm sebesar 0,0927 gram /1000 ml

- Cd 100 ppm

100 ppm = 100 mg/L = 100 mg/1000 ml

$$\frac{Ar\ Cd}{Mr\ CdSO_4} = \frac{Massa\ Cd}{Massa\ CdSO_4}$$

$$\frac{112,4\ mg/mmol}{208,47\ mg/mmol} = \frac{100\ mg/1000\ ml}{Massa\ CdSO_4}$$

massa $CdSO_4 = 185,4\ mg/1000\ ml$

Massa $CdSO_4$ yang dibutuhkan untuk membuat larutan logam Cd 100 ppm sebesar 0,1854 gram /1000 ml

2. Pembuatan Limbah SIER (Cu dan Cd) dari $CuSO_4$ dan $CdSO_4$

A. Limbah SIER Cu

BM $CuSO_4 = 159,6\ mg/mmol$

Konsentrasi Cu dalam Limbah SIER = 0,62 ppm

- Cu 25 ppm

Untuk membuat konsentrasi Cu 25 ppm dalam limbah SIER diperlukan penambahan konsentrasi sebanyak

25 ppm – 0,62 ppm = 24,38 ppm

Membuat limbah SIER dengan Cu 24,38 ppm sebanyak 1000 ml :

24,38 ppm = 24,38 mg/L = 24,38 mg/1000 ml limbah SIER

$$\frac{\frac{Ar\ Cu}{Mr\ CuSO_4}}{\frac{63,546\ mg/mmol}{159,6\ mg/mmol}} = \frac{\frac{Massa\ Cu}{Massa\ CuSO_4}}{\frac{24,38\ mg/1000\ ml}{Massa\ CuSO_4}}$$

massa $CuSO_4$ = 61,23 mg/ 1000 ml

Massa $CuSO_4$ yang ditambahkan sebesar 0,06123 gram /1000 ml

- Cu 50 ppm

Untuk membuat konsentrasi Cu 50 ppm dalam limbah SIER diperlukan penambahan konsentrasi sebanyak

50 ppm – 0,62 ppm = 49,38 ppm

Membuat limbah SIER dengan Cu 49,38 ppm sebanyak 1000 ml :

49,38 ppm = 49,38 mg/L = 49,38 mg/1000 ml limbah SIER

$$\frac{\frac{Ar\ Cu}{Mr\ CuSO_4}}{\frac{63,546\ mg/mmol}{159,6\ mg/mmol}} = \frac{\frac{Massa\ Cu}{Massa\ CuSO_4}}{\frac{49,38\ mg/1000\ ml}{Massa\ CuSO_4}}$$

massa $CuSO_4$ = 124,02 mg /1000 ml

Massa $CuSO_4$ yang ditambahkan sebesar 0,12402 gram /1000 ml

- Cu 100 ppm

Untuk membuat konsentrasi Cu 100 ppm dalam limbah SIER diperlukan penambahan konsentrasi sebanyak 100

ppm – 0,62 ppm = 99,38 ppm

Membuat limbah SIER dengan Cu 99,38 ppm sebanyak 1000 ml :

99,38 ppm = 99,38 mg/L = 99,38 mg/1000 ml limbah SIER

$$\frac{Ar\ Cu}{Mr\ CuSO_4} = \frac{Massa\ Cu}{Massa\ CuSO_4}$$

$$\frac{63,546\ mg/mmol}{159,6\ mg/mmol} = \frac{99,38\ mg/1000\ ml}{Massa\ CuSO_4}$$

massa $CuSO_4$ = 249,5 mg /1000 ml

Massa $CuSO_4$ yang ditambahkan sebesar 0,2495 gram /1000 ml

B. Limbah SIER Cd

BM $CdSO_4$ = 208,47 mg/mmol

Konsentrasi Cd dalam Limbah SIER = 0,13 ppm

- Cd 25 ppm

Untuk membuat konsentrasi Cd 25 ppm dalam limbah SIER diperlukan penambahan konsentrasi sebanyak 25 ppm – 0,13 ppm = 24,87 ppm

Membuat limbah SIER dengan Cd 24,87 ppm sebanyak 1000 ml :

24,87 ppm = 24,87 mg/L = 24,87 mg/1000 ml limbah SIER

$$\frac{Ar\ Cd}{Mr\ CdSO_4} = \frac{Massa\ Cd}{Massa\ CdSO_4}$$

$$\frac{112,4\ mg/mmol}{208,47\ mg/mmol} = \frac{24,87\ mg/1000\ ml}{Massa\ CuSO_4}$$

massa $CdSO_4$ = 46,0 mg /1000 ml

Massa $CdSO_4$ yang ditambahkan sebesar 0,046

gram /1000 ml

- Cd 50 ppm

Untuk membuat konsentrasi Cd 50 ppm dalam limbah SIER diperlukan penambahan konsentrasi sebanyak 50 ppm – 0,13 ppm = 49,87 ppm

Membuat limbah SIER dengan Cd 49,87 ppm sebanyak 1000 ml :

49,87 ppm = 49,87 mg/L = 49,87 mg/1000 ml limbah SIER

$$\frac{\frac{Ar\ Cd}{Mr\ CdSO_4}}{\frac{112,4\ mg/mmol}{208,47\ mg/mmol}} = \frac{\frac{Massa\ Cd}{Massa\ CdSO_4}}{\frac{49,87\ mg/1000\ ml}{Massa\ CuSO_4}}$$

massa CdSO₄ = 92,0 mg /1000 ml

Massa CdSO₄ yang ditambahkan sebesar 0,092 gram /1000 ml

- Cd 100 ppm

Untuk membuat konsentrasi Cd 100 ppm dalam limbah SIER diperlukan penambahan konsentrasi sebanyak 100 ppm – 0,13 ppm = 99,87 ppm

Membuat limbah SIER dengan Cd 99,87 ppm sebanyak 1000 ml :

99,87 ppm = 99,87 mg/L = 99,87 mg/1000 ml limbah SIER

$$\frac{Ar\ Cd}{Mr\ CdSO_4} = \frac{Massa\ Cd}{Massa\ CdSO_4}$$

$$\frac{112,4 \text{ mg/mmol}}{208,47 \text{ mg/mmol}} = \frac{49,87 \text{ mg/1000 ml}}{\text{Massa CuSO}_4}$$

massa $\text{CdSO}_4 = 185,2 \text{ mg /1000 ml}$
 Massa CdSO_4 yang ditambahkan sebesar 0,1852 gram /1000 ml

3. Perhitungan Efisiensi Adsorpsi

$$\% \text{ adsorpsi logam} = \frac{\text{konsentrasi logam awal} - \text{konsentrasi logam sisa}}{\text{konsentrasi logam awal}} \times 100\%$$

Contoh perhitungan logam Cu(II) kadar awal 25 ppm dan kadar sisa 9,95 ppm

$$\% = \frac{25 \text{ ppm} - 9,95 \text{ ppm}}{25 \text{ ppm}} \times 100\%$$

Maka didapatkan efisiensi adsorpsi sebesar 60,2 %

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

APPENDIKS B

1. Isotherm Freundlich biomassa alga non imobilisasi untuk larutan Cu (II)

Tabel B.1. Hasil perhitungan isotherm freundlich larutan Cu (II) non imobilisasi

[Cu] awal	[Cu] sisa	[Cu] teradsorpsi			m	
C_i	C_{eq}	(C_b)		$\log C_{eq}$	$(cb/0.1 \text{ g})$	$\log m$
(mg/L)	(mg/L)	mg/L	mg	$\log \text{ mg/l}$	(mg/g)	$\log \text{ mg/g}$
25	7.19	17.81	0.44525	0.85672889	4.4525	0.64860393
50	19.59	30.41	0.76025	1.29203444	7.6025	0.88095643
100	38.65	61.35	1.53375	1.5871495	15.3375	1.18575458

Keterangan :

C_i : konsentrasi logam Cu awal sebelum adsorpsi (mg/l)

C_{eq} : konsentrasi logam Cu yang tidak teradsorpsi dalam larutan logam (mg/l)

C_b : konsentrasi logam yang teradsorpsi dalam biomassa (mg/l)

m : $C_b/\text{biomassa}$, jumlah logam yang dapat teradsorpsi dalam 1 gram biomassa (mg/g)

Perhitungan cb/biomassa

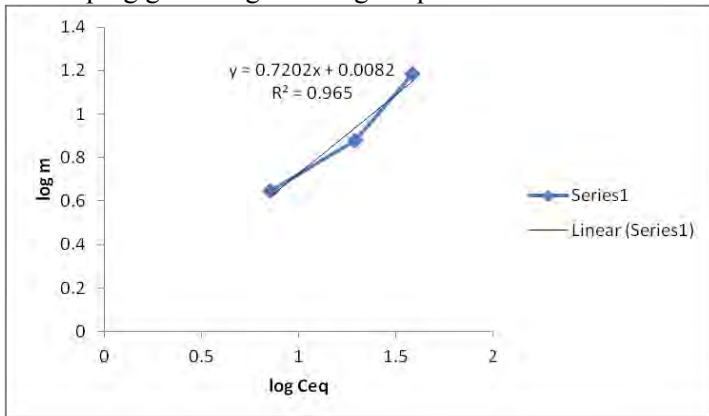
Jumlah biomassa yang digunakan : 100 mg = 0,1 g

Volume yang digunakan : 25 mL = 0,025 L

$$C_b/\text{bio (mg/g)} = \frac{(C_i - C_{eq}) \times \text{volume larutan logam}}{\text{Jumlah biomassa}}$$

$$C_b/\text{bio (mg/g)} = \frac{(25 - 7,19) \times 0,025 \text{ L}}{0,1 \text{ g}} \\ = 4,4525 \text{ mg/g}$$

Dibuat plog grafik log m vs log Ceq



Gambar B.1. Grafik isotherm freundlich larutan Cu (II) non imobilisasi

Perhitungan k dan n

$$\text{Log } m = \log k + \frac{1}{n} \log c$$

Persamaan linear :

$$y = 0,7202 x + 0,0082$$

$$\log k = 0,0082$$

$$k = 1,01906$$

$$1/n = 0.7202$$

$$n = 1.3885$$

2. Isotherm Freundlich biomassa alga non imobilisasi untuk larutan Cd (II)

Tabel B.2. Hasil perhitungan isotherm freundlich larutan Cd (II) non imobilisasi

[Cd] awal	[Cd] sisa	[Cd] teradsorpsi			m	
C_i	C_{eq}	(Cb)		log C_{eq}	(cb/0.1 g)	log m
(mg/L)	(mg/L)	mg/L	mg	log mg/l	(mg/g)	log mg/g
25	7.58	17.42	0.4355	0.87966921	4.355	0.63898816
50	20.48	29.52	0.738	1.31132995	7.38	0.86805636
100	44.62	55.38	1.3845	1.64952957	13.845	1.14129296

Keterangan :

C_i : konsentrasi logam Cu awal sebelum adsorpsi (mg/l)

C_{eq} : konsentrasi logam Cu yang tidak teradsorpsi dalam larutan logam (mg/l)

C_b : konsentrasi logam yang teradsorpsi dalam biomassa (mg/l)

m : C_b /biomassa, jumlah logam yang dapat teradsorpsi dalam 1 gram biomassa (mg/g)

Perhitungan cb/biomassa

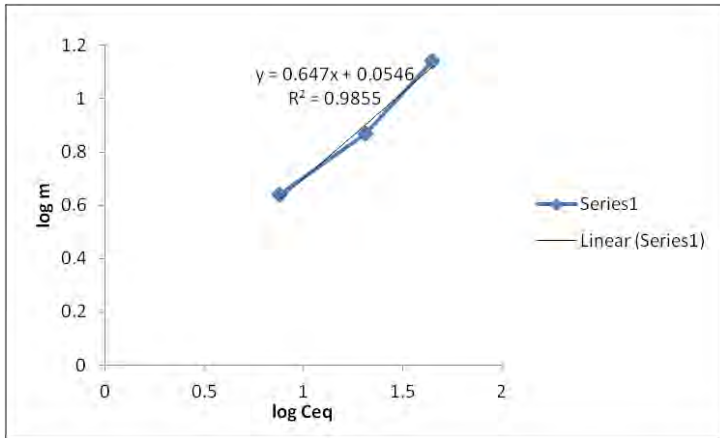
Jumlah biomassa yang digunakan : 100 mg = 0,1 g

Volume yang digunakan : 25 mL = 0,025 L

$$C_b/bio \text{ (mg/g)} = \frac{(C_i - C_{eq}) \times \text{volume larutan logam}}{\text{Jumlah biomassa}}$$

$$C_b/bio \text{ (mg/g)} = \frac{(25 - 7,58) \times 0,025 \text{ L}}{0,1 \text{ g}} \\ = 4,355 \text{ mg/g}$$

Dibuat plog grafik log m vs log C_{eq}



Gambar B.2. Grafik isotherm freundlich larutan Cd (II) non imobilisasi

Perhitungan k dan n

$$\text{Log } m = \log k + \frac{1}{n} \log c$$

Persamaan linear :

$$y = 0,647 x + 0,0546$$

$$\log k = 0,0546$$

$$k = 1,3886$$

$$1/n = 0.647$$

$$n = 1.5455$$

1. Isotherm Freundlich biomassa alga imobilisasi untuk larutan Cu (II)

Tabel B.3. Hasil perhitungan isotherm freundlich larutan Cu (II) imobilisasi

[Cu] awal	[Cu] sisa	[Cu] teradsorpsi			m	
C_i	C_{eq}	(Cb)		$\log C_{eq}$	$(cb/0.1 \text{ g})$	$\log m$
(mg/L)	(mg/L)	mg/L	mg	$\log \text{ mg/l}$	(mg/g)	$\log \text{ mg/g}$
25	8.42	16.58	0.4145	0.92531209	4.145	0.61752453
50	19.77	30.23	0.75575	1.29600667	7.5575	0.87837816
100	41.59	58.41	1.46025	1.61898892	14.6025	1.16442721

Keterangan :

C_i : konsentrasi logam Cu awal sebelum adsorpsi (mg/l)

C_{eq} : konsentrasi logam Cu yang tidak teradsorpsi dalam larutan logam (mg/l)

C_b : konsentrasi logam yang teradsorpsi dalam biomassa (mg/l)

m : $C_b/\text{biomassa}$, jumlah logam yang dapat teradsorpsi dalam 1 gram biomassa (mg/g)

Perhitungan $cb/\text{biomassa}$

Jumlah biomassa yang digunakan : 100 mg = 0,1 g

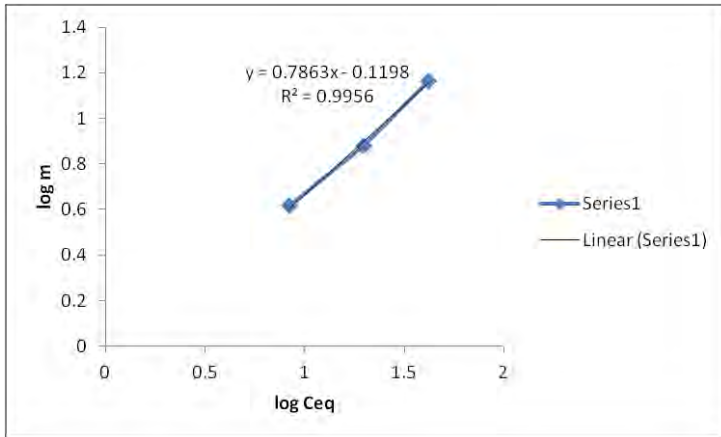
Volume yang digunakan : 25 mL = 0,025 L

$$Cb/\text{bio (mg/g)} = \frac{(C_i - C_{eq}) \times \text{volume larutan logam}}{\text{Jumlah biomassa}}$$

$$Cb/\text{bio (mg/g)} = \frac{(25 - 8,42) \times 0,025 \text{ L}}{0,1 \text{ g}}$$

$$= 4,145 \text{ mg/g}$$

Dibuat plog grafik $\log m$ vs $\log C_{eq}$



Gambar B.3. Grafik isotherm freundlich larutan Cu (II) imobilisasi

Perhitungan k dan n

$$\text{Log } m = \log k + \frac{1}{n} \log c$$

Persamaan linear :

$$y = 0,7863 x + 0,1198$$

$$\log k = 0,1198$$

$$k = 0,7589$$

$$1/n = 0,7863$$

$$n = 1.271$$

1. Isotherm Freundlich biomassa alga imobilisasi untuk larutan Cd (II)

Tabel B.4. Hasil perhitungan isotherm freundlich larutan Cd (II) imobilisasi

[Cd] awal	[Cd] sisa	[Cd] teradsorpsi			m	
Ci	Ceq	(Cb)		log Ceq	(cb/0.1 g)	log m
(mg/L)	(mg/L)	mg/L	mg	log mg/l	(mg/g)	log mg/g
25	8.47	16.53	0.41325	0.92788341	4.1325	0.61621286
50	22.19	27.81	0.69525	1.3461573	6.9525	0.842141
100	44.61	55.39	1.38475	1.64943222	13.8475	1.14137137

Keterangan :

Ci : konsentrasi logam Cu awal sebelum adsorpsi (mg/l)

Ceq : konsentrasi logam Cu yang tidak teradsorpsi dalam larutan logam (mg/l)

Cb : konsentrasi logam yang teradsorpsi dalam biomassa (mg/l)

m : Cb/biomassa, jumlah logam yang dapat teradsorpsi dalam 1 gram biomassa (mg/g)

Perhitungan cb/biomassa

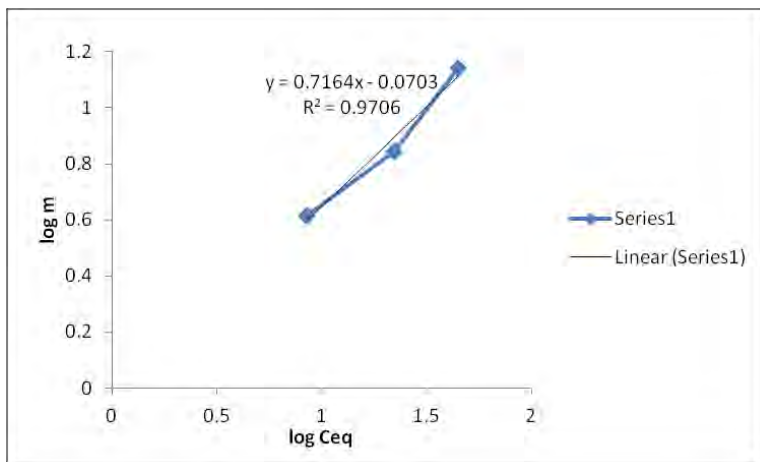
Jumlah biomassa yang digunakan : 100 mg = 0,1 g

Volume yang digunakan : 25 mL = 0,025 L

$$\text{Cb/bio (mg/g)} = \frac{(\text{Ci} - \text{Ceq}) \times \text{volume larutan logam}}{\text{Jumlah biomassa}}$$

$$\begin{aligned} \text{Cb/bio (mg/g)} &= \frac{(25 - 8,47) \times 0,025 \text{ L}}{0,1 \text{ g}} \\ &= 4,1325 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

Dibuat plog grafik log m vs log Ceq



Gambar B.3. Grafik isotherm freundlich larutan Cd (II) imobilisasi

Perhitungan k dan n

$$\text{Log } m = \log k + \frac{1}{n} \log c$$

Persamaan linear :

$$y = 0,7164 x + 0,0703$$

$$\log k = 0,0703$$

$$k = 0,8506$$

$$1/n = 0,7164$$

$$n = 1.3958$$

1. Isotherm Langmuir biomassa alga non imobilisasi untuk larutan Cu (II)

Tabel B.5. Hasil perhitungan isotherm Langmuir larutan Cu (II) non imobilisasi

<u>[Cu] awal</u>	<u>[Cu] sisa</u>	<u>[Cu] teradsorpsi</u>			a	
<u>Ci</u>	<u>Ceq</u>	<u>(Cb)</u>		<u>1/Ceq</u>	<u>(cb/0.1 g)</u>	<u>1/a</u>
<u>(mg/L)</u>	<u>(mg/L)</u>	<u>mg/L</u>	<u>mg</u>	<u>(1/mg/L)</u>	<u>(mg/g)</u>	<u>(g/mg)</u>
25	7.19	17.81	0.44525	0.139082	4.4525	0.224593
50	19.59	30.41	0.76025	0.051046	7.6025	0.131536
100	38.65	61.35	1.53375	0.025873	15.3375	0.0652

Keterangan :

Ci : konsentrasi logam Cu awal sebelum adsorpsi (mg/l)

Ceq : konsentrasi logam Cu yang tidak teradsorpsi dalam larutan logam (mg/l)

Cb : konsentrasi logam yang teradsorpsi dalam biomassa (mg/l)

a : Cb/biomassa, jumlah logam yang dapat teradsorpsi dalam 1 gram biomassa (mg/g)

Perhitungan cb/biomassa

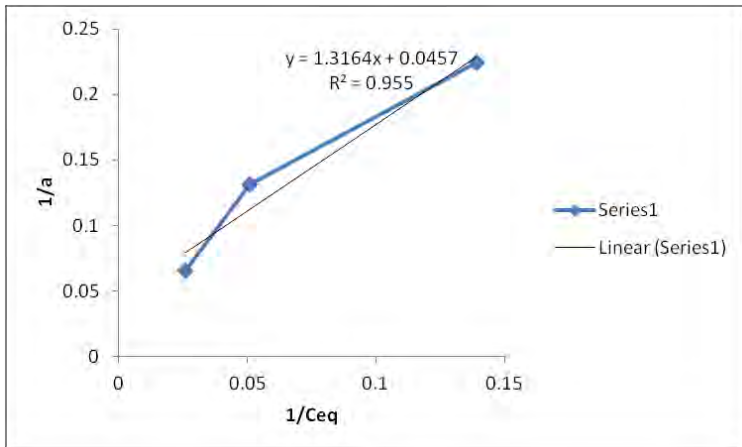
Jumlah biomassa yang digunakan : 100 mg = 0,1 g

Volume yang digunakan : 25 mL = 0,025 L

$$Cb/bio \text{ (mg/g)} = \frac{(Ci - Ceq) \times \text{volume larutan logam}}{\text{Jumlah biomassa}}$$

$$Cb/bio \text{ (mg/g)} = \frac{(25 - 7,19) \times 0,025 \text{ L}}{0,1 \text{ g}} \\ = 4,4525 \text{ mg/g}$$

Dibuat plog grafik log 1/a vs log 1/Ceq



Gambar B.5. Grafik isotherm Langmuir larutan Cu (II) non imobilisasi

Perhitungan $(am)_{\max}$ dan k

$$\frac{c}{am} = \frac{1}{(am)_{\max} \cdot k} + \frac{1}{(am)_{\max}} \cdot c$$

Persamaan linear :

$$y = 1,3164 x + 0,0457$$

$$\frac{1}{(am)_{\max}} = 1,3164$$

$$(am)_{\max} = 0,759$$

$$\frac{1}{(am)_{\max} \cdot k} = 0,0457$$

$$k = 28,805$$

1. Isotherm Langmuir biomassa alga non imobilisasi untuk larutan Cd (II)

Tabel B.6. Hasil perhitungan isotherm Langmuir larutan Cd (II) non imobilisasi

Keterangan :

C_i : konsentrasi logam Cu awal sebelum adsorpsi (mg/l)

C_{eq} : konsentrasi logam Cu yang tidak teradsorpsi dalam larutan logam (mg/l)

C_b : konsentrasi logam yang teradsorpsi dalam biomassa (mg/l)

a : C_b /biomassa, jumlah logam yang dapat teradsorpsi dalam 1 gram biomassa (mg/g)

Perhitungan c_b /biomassa

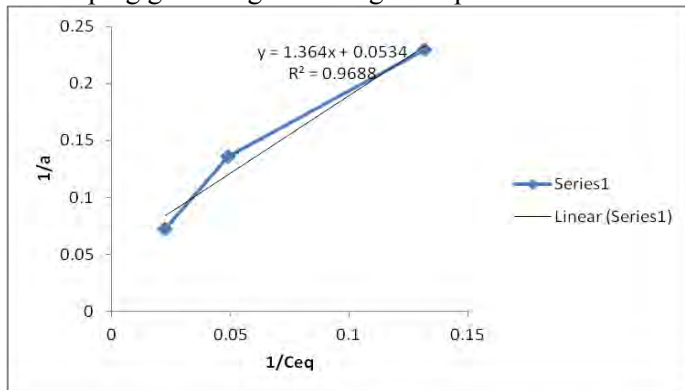
Jumlah biomassa yang digunakan : 100 mg = 0,1 g

Volume yang digunakan : 25 mL = 0,025 L

$$C_b/bio \text{ (mg/g)} = \frac{(C_i - C_{eq}) \times \text{volume larutan logam}}{\text{Jumlah biomassa}}$$

$$C_b/bio \text{ (mg/g)} = \frac{(25 - 7,58) \times 0,025 \text{ L}}{0,1 \text{ g}} \\ = 4,355 \text{ mg/g}$$

Dibuat plog grafik $\log 1/a$ vs $\log 1/C_{eq}$



Gambar B.6. Grafik isotherm Langmuir larutan Cd (II) non imobilisasi

Perhitungan $(am)_{\max}$ dan k

$$\frac{C}{am} = \frac{1}{(am)_{\max} \cdot k} + \frac{1}{(am)_{\max}} \cdot C$$

Persamaan linear :

$$y = 1,364 x + 0,0534$$

$$\frac{1}{(am)_{\max}} = 1,3164$$

$$(am)_{\max} = 0,73318$$

$$\frac{1}{(am)_{\max} \cdot k} = 0,0457$$

$$k = 25,543$$

1. Isotherm Langmuir biomassa alga imobilisasi untuk larutan Cu (II)

Tabel B.7. Hasil perhitungan isotherm Langmuir larutan Cu (II) imobilisasi

<u>[Cu] awal</u>	<u>[Cu] sis</u>	<u>[Cu] teradsorpsi</u>			<u>a</u>	
<u>C_i</u>	<u>C_{eq}</u>	<u>(C_b)</u>		<u>1/C_{eq}</u>	<u>(c_b/0.1 g)</u>	<u>1/a</u>
<u>(mg/L)</u>	<u>(mg/L)</u>	<u>mg/L</u>	<u>mg</u>	<u>(1/mg/L)</u>	<u>(mg/g)</u>	<u>(g/mg)</u>
25	8.42	16.58	0.4145	0.118765	4.145	0.241255
50	19.77	30.23	0.75575	0.050582	7.5575	0.132319
100	41.59	58.41	1.46025	0.024044	14.6025	0.068481

Keterangan :

C_i : konsentrasi logam Cu awal sebelum adsorpsi (mg/l)

C_{eq} : konsentrasi logam Cu yang tidak teradsorpsi dalam larutan logam (mg/l)

C_b : konsentrasi logam yang teradsorpsi dalam biomassa (mg/l)

a : C_b/biomassa, jumlah logam yang dapat teradsorpsi dalam 1 gram biomassa (mg/g)

Perhitungan cb/biomassa

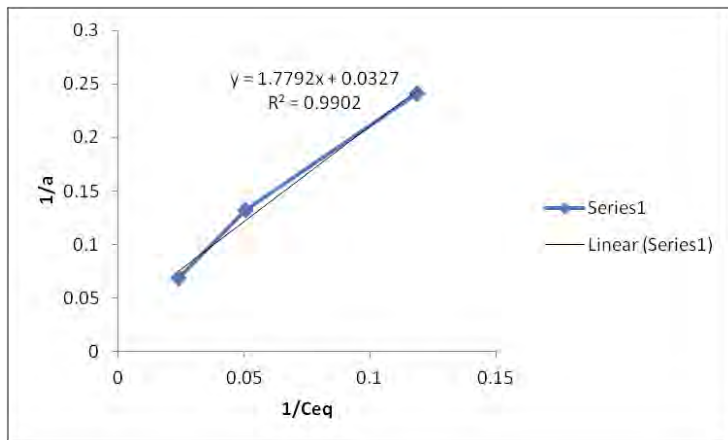
Jumlah biomassa yang digunakan : 100 mg = 0,1 g

Volume yang digunakan : 25 mL = 0,025 L

$$Cb/bio \text{ (mg/g)} = \frac{(C_i - C_{eq}) \times \text{volume larutan logam}}{\text{Jumlah biomassa}}$$

$$Cb/bio \text{ (mg/g)} = \frac{(25 - 7,58) \times 0,025 \text{ L}}{0,1 \text{ g}} \\ = 4,355 \text{ mg/g}$$

Dibuat plog grafik log 1/a vs log 1/Ceq



Gambar B.7. Grafik isotherm Langmuir larutan Cu (II) imobilisasi

Perhitungan $(am)_{max}$ dan k

$$\frac{c}{am} = \frac{1}{(am)_{max} \cdot k} + \frac{1}{(am)_{max}} c$$

Persamaan linear :

$$y = 1,7792 x + 0,0327$$

$$\frac{1}{(am)_{\max}} = 1,7792$$

$$(am)_{\max} = 0,562$$

$$\frac{1}{(am)_{\max \cdot k}} = 0,0327$$

$$k = 54,409$$

1. Isotherm Langmuir biomassa alga imobilisasi untuk larutan Cd (II)

Tabel B.8. Hasil perhitungan isotherm Langmuir larutan Cd (II) imobilisasi

<u>[Cd]</u> awal	<u>[Cd]</u> sisa	<u>[Cd]</u> teradsorpsi			a	
<u>C_i</u>	<u>C_{eq}</u>	<u>(C_b)</u>		<u>1/C_{eq}</u>	<u>(c_b/0.1 g)</u>	<u>1/a</u>
(mg/L)	(mg/L)	mg/L	mg	(1/mg/L)	(mg/g)	(g/mg)
25	8.47	16.53	0.41325	0.118064	4.1325	0.241984
50	22.19	27.81	0.69525	0.045065	6.9525	0.143833
100	44.61	55.39	1.38475	0.022416	13.8475	0.072215

Keterangan :

C_i : konsentrasi logam Cu awal sebelum adsorpsi (mg/l)

C_{eq} : konsentrasi logam Cu yang tidak teradsorpsi dalam larutan logam (mg/l)

C_b : konsentrasi logam yang teradsorpsi dalam biomassa (mg/l)

a : C_b/biomassa, jumlah logam yang dapat teradsorpsi dalam 1 gram biomassa (mg/g)

Perhitungan cb/biomassa

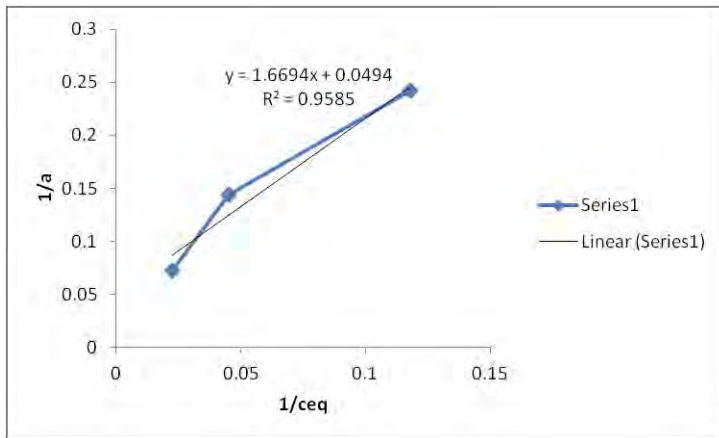
Jumlah biomassa yang digunakan : 100 mg = 0,1 g

Volume yang digunakan : 25 mL = 0,025 L

$$Cb/bio \text{ (mg/g)} = \frac{(C_i - C_{eq}) \times \text{volume larutan logam}}{\text{Jumlah biomassa}}$$

$$Cb/bio \text{ (mg/g)} = \frac{(25 - 8,47) \times 0,025 \text{ L}}{0,1 \text{ g}} \\ = 4,1325 \text{ mg/g}$$

Dibuat plog grafik log 1/a vs log 1/Ceq



Gambar B.8. Grafik isotherm Langmuir larutan Cd (II) imobilisasi

Perhitungan $(am)_{max}$ dan k

$$\frac{C}{am} = \frac{1}{(am)_{max} \cdot k} + \frac{1}{(am)_{max}} C$$

Persamaan linear :

$$y = 1,6694 x + 0,0494$$

$$\frac{1}{(am)_{max}} = 1,6694$$

$$(am)_{max} = 0,599$$

$$\frac{1}{(am)_{\max} \cdot k} = 0,0494$$

$$k = 33,793$$

Tabel B.9. Hasil perhitungan isotherm Langmuir dan Freundlich

<u>Logam</u>		Langmuir			<u>Freundlich</u>	
		<u>non</u> <u>imobilisasi</u>	<u>imobilisasi</u>		<u>non</u> <u>imobilisasi</u>	<u>imobilisasi</u>
Cu	R ²	0.955	0.990	R ²	0,965	0,9956
	am	0.760	0.562	k	1.019	0.759
	k	28.805	54.410	n	1.389	1.272
<u>Cd</u>	R ²	0,9688	0,9585	R ²	0,9855	0,9706
	am	0.733	0,599	k	1.134	0.851
	k	25.543	33.794	n	1.546	1.396